

**Міністерство освіти і науки України**  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"**

**МЕТОДИ ОЧИСТКИ ТА ПЕРЕРОБКИ ВИКИДІВ ТА ВІДХОДІВ**

**Навчальний посібник**

Затверджено на засіданні кафедри ТНРЕ  
Протокол № 11, від 24.05.2021 р.

**Одеса: ОП, 2021**

Кожухар В.Я. Методи очистки та переробки викидів та відходів : навчальний посібник / В.Я. Кожухар, В.В. Брем, І.В. Дмитренко, Л.В. Тимошевська. Одеса: ОП, 2021. 222 с.

Автори: Кожухар В.Я., д.т.н., професор,  
Брем В.В., к.х.н., доцент  
Дмитренко І.В., к.т.н,  
Тимошевська Л.В., к.т.н.

*В.Я. Кожухар, В.В. Брем, І.В. Дмитренко, Л.В. Тимошевська. Методи очистки та переробки викидів та відходів : навчальний посібник.* Навчальний посібник спрямований на ознайомлення здобувачів вищої освіти: з аналізом ситуації, що склалася в цієї галузі та перспективами її розвитку, нормативно-правовими актами, які регламентують поводження з відходами, теоретичними основами та практичним досвідом переробки та утилізації промислових викидів та побутових відходів. Описано основні напрямки переробки викидів та відходів, що мають розвиток не тільки в Україні, але й у різних країнах світу. Навчальний посібник призначено для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

## ЗМІСТ

1 ВІДХОДИ. ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХОДІВ. КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ.....	4
1.1 Динаміка зростання утворення відходів .....	4
1.2 Класифікація відходів .....	7
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....	11
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1.....	12
2 НОРМАТИВНО–ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ ВІДХОДАМИ.....	13
2.1 Визначення правового простору.....	13
2.2 Законодавча база .....	17
2.3 Система управління промисловими відходами .....	19
2.3 Облік і інвентаризація промислових відходів в Україні.....	22
2.3.1 Небезпечні відходи і регулювання поводження з ними.....	22
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 .....	23
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 2.....	24
3 ПРОМИСЛОВІ ВІДХОДИ МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ТА ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ.....	25
3.1 Вибір способів переробки відходів .....	25
3.2 Переробка та утилізація відходів за галузями промисловості .....	36
3.2.1 Утилізація відходів фосфатної промисловості .....	36
3.2.2 Утилізація відходів виробництва калійних добрив .....	41
3.2.3 Утилізація відходів виробництва соди.....	41

3.2.4 Утилізація відходів виробництва ацетилену .....	44
3.2.5 Утилізація відходів виробництва сульфатної кислоти.....	45
3.2.6 Утилізація відходів коксохімічного виробництва .....	47
3.2.7 Утилізація відходів виробництва і споживання пластмас .....	51
3.2.8 Утилізація відходів, що містять нафту .....	52
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 .....	53
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 3.....	53
4 ПОБУТОВІ ВІДХОДИ. МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ .	55
4.1 Ситуація, що склалася з побутовими відходами.....	55
4.2 Властивості ТПВ .....	57
4.3 Методи утилізації твердих побутових відходів .....	64
4.3.1 Термічні способи переробки відходів.....	67
4.3.1.1 Безполум'яні термічні способи утилізації відходів .....	67
4.3.1.2 Полум'яні методи утилізації відходів.....	79
4.3.1.3 Утворення діоксинів при спалюванні ТПВ на заводах по спалюванню сміття.....	89
4.1.3.4 Плазмовий спосіб утилізації відходів .....	112
4.3.2 Сортування та розподіл відходів на фракції .....	112
4.3.2.1 Матеріали, які використовують вторинне та умови їх регенерування .....	115
4.3.2.2 Сортування відходів у домашніх господарствах .....	117
4.3.2.3 Центри первинної обробки відходів .....	118
4.3.2.4. Оцінка та вибір технологій для раціонального сортування ТПВ ....	127
4.3.3 Утилізація ТПВ на санітарних полігонах .....	135
4.3.3.1 Використання геосинтетичних матеріалів для гідроізоляції полігонів ТПВ .....	144
4.3.3.2 Основні стадії біологічної деградації ТПВ.....	150
4.3.3.3 Технологія збору звалищного газу .....	155
4.3.3.4 Економічні показники технологій видобутку та використання звалищного газу.....	158
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4 .....	163
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 4.....	164
5 ВІДХОДИ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ .....	167
5.1 Вплив хімічних засобів захисту рослин на навколишнє середовище .....	169
5.1.1 Ситуація з пестицидами в Україні.....	173
5.1.1.1 Ситуація з пестицидами в Одеській області .....	178
5.2 Методи утилізації пестицидів .....	182
5.2.1 Альтернативні технології видалення та знищення СОЗ .....	191
5.3 Вермікомпостування.....	199
5.3.1 Біогумус.....	202
5.3.2 Агрохімічні та фізико-хімічні характеристики біогумусу як добрива .	208
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5 .....	214
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 5.....	215
ЛІТЕРАТУРА.....	216

# 1 ВІДХОДИ. ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХОДІВ. КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ

## 1.1 ДИНАМІКА ЗРОСТАННЯ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ

Техногенний вплив на об'єкти навколишнього середовища пов'язаний з утворенням величезної кількості відходів, які утворюються на стадії створення матеріального продукту за рахунок залишків сировини, напівфабрикатів і таке інше (рис. 1.1 – 1.2).

Крім утворення твердих побутових відходів (ТПВ) в атмосферне повітря і водою потрапляють забруднюючі речовини з технологічними викидами і стічними водами (газоподібні та рідкі відходи).

В процесі експлуатації виробів виникають відходи споживання: тара, витратні матеріали, запасні частини і т.п. Вироби, які втратили свої споживчі властивості, перетворюються на сміття або тверді побутові відходи.

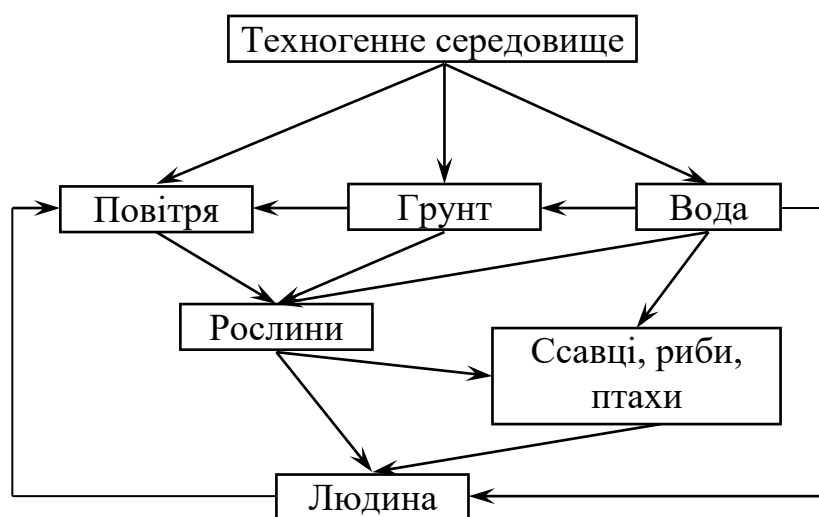


Рис. 1.1 – Кругообіг забруднюючих речовин в техносфері [1]

**Відходи** – будь-які речовини, матеріали і предмети, які утворюються в процесі людської діяльності і після не використовуються, від яких їх власник позбувається, має намір або зобов'язаний позбавитися шляхом їх утилізації або видалення.

В Україні протягом 2009 р. внаслідок впровадження виробничої діяльності суб'єктами господарювання утворилося 1,2 млн. т відходів I...III класу небезпеки. Основна частина цих відходів (0,9 млн. т, або 75 % загального обсягу) віднесена до III класу небезпеки, а відходи I...II класу небезпеки становлять відповідно 3,8 та 299,2 тис. т [2].

Природоохоронною проблемою є поводження з побутовими відходами. Питомі показники утворення відходів у середньому становлять 220...250 кг/рік

на одну особу, а у великих містах досягають 330...380 кг/рік відповідно. ТПВ піддають депонуванню на 4157 сміттєзвалищах і полігонах загальною площею близько 7,4 тис. га і лише близько 3,5 % ТПВ спалюються на двох сміттєспалювальних заводах у містах Києві та Дніпропетровську. За розрахунками, близько 0,1 % побутових відходів є небезпечними[2].



Рис. 1.2 – Зв'язки виробництва з утворенням відходів [3]

Значну загрозу для навколишнього природного середовища та здоров'я людини становлять медичні відходи, що містять небезпечні патогенні та умовно патогенні мікроорганізми. В Україні щорічно утворюється приблизно 350 тис. т медичних відходів, які мають потенційний ризик поширення інфекцій.

В Україні відзначається тенденція до збільшення обсягу утворених і вивезених на полігони ТПВ. Обсяг вивезених твердих побутових відходів, який у 2009 р. досяг 50,1 млн. м<sup>3</sup>, збільшується щороку майже на 4 млн. м<sup>3</sup> [2]. У 2009 р. послугами із збирання твердих побутових відходів, охоплено 72 % населення.

Серед ТПВ збільшується частка відходів, які не піддаються швидкому розкладу і потребують значних площ для зберігання. Кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 243 одиниці (5,8 % їх загальної кількості), а 1187 одиниць (28,5 %) – не відповідають нормам екологічної безпеки.

На кінець 2009 р. в Україні на 2987 складах накопичено більше 20 тис. т непридатних пестицидів, більше половини з яких – невідомі суміші високотоксичних пестицидів, які належать до переліку стійких органічних забруднювачів ООН.

За експертною оцінкою (Рада з вивчення продуктивних сил України НАН України) загальний обсяг утворення відходів в Україні складає 690...700 млн. т. у рік. Загальний обсяг накопичення токсичних відходів в Україні на початок 2005 р. склав 1,59 млрд. т проти 2,74 млрд. т на початок 2004 р. [4].

Таку відмінність у статистичних даних можна пояснити лише переоглядом критеріїв віднесення накопичень відходів до категорії токсичних. У зв'язку з цим зазначимо, що в Україні з проблемою токсичних відходів найбільш "успішно" справляється саме статистика, оскільки, відповідно до її даних, починаючи з 1997 р., обсяг накопичення токсичних відходів у сховищах зменшився з понад 5 млрд. т до 1,59 млрд. т. Зазначені цифрові зіставлення свідчать про недостатню визначеності самої категорії "токсичні відходи", про відсутність порядку їх віднесення до категорії небезпечних, а також відповідної методики.

Міністерство охорони навколишнього середовища оцінює концентрацію в Україні всіх видів відходів об'ємом близько 35 млрд. т. [2]. Про це повідомив директор департаменту екологічної безпеки Олександр Соколов. З цих 35 млрд. т близько 2,6 млрд. т є високотоксичними.

За даними міністерства, щорічно загальний обсяг побутових відходів збільшується майже на 50 млн. м<sup>3</sup>, а промислових – на 175 млн. м<sup>3</sup>.

З програми використання відходів виробництва і споживання на період до 2005 року, затвердженої постановою Кабміну № 668 від 28.06.1997 р., можна дізнатися, що щорічно в Україні утворюється близько 1 млрд. тонн відходів виробництва та споживання, з яких приблизно 10...15 % застосовуються як вторинні матеріальні ресурси, решта потрапляє у сховища, шламонакопичувачі, терикони. Відходи займають площу близько 160 тис. га.

Витрати на складування і захоронення відходів становлять майже 20 відсотків вартості продукції.

*Майже всі побутові відходи піддають депонуванню на полігонах*[2]. В основному вони працюють у режимі перевантаження, тобто з порушенням проектних показників щодо обсягів накопичення відходів. Разом з тим полігони є джерелом інтенсивного забруднення атмосфери та підземних вод. Практично ні на одному з них не знешкоджується фільтрат. Майже всі полігони потребують невідкладної санації та рекультивації. Не вирішуються питання створення нових полігонів. Половина полігонів побутових відходів приймає промислові відходи. Крім того, у багатьох містах триває процес утворення несанкціонованих звалищ побутових відходів.

Найбільші площі під полігони відведено в Дніпропетровській – 140 га, Донецькій – 330 га, Одеській – 195 га, Запорізькій – 153 га, Луганській – 129 га областях [2].

З чотирьох сміттєспалювальних заводів (у Києві, Харкові, Севастополі та Дніпропетровську) працюють лише Київський і Дніпропетровський. Їхне

обладнання застаріле і не відповідає сучасним екологічним вимогам, внаслідок чого вони стають джерелом забруднення навколишнього середовища токсичними газами.

У сільських населених пунктах немає спеціалізованих підприємств у сфері поводження з побутовими відходами та санкціонованих звалищ. Побутові відходи скидають у природні рельєфні утворення – балки, яри, долини річок. Це становить екологічну небезпеку, оскільки стічні води, насичені забруднюючими речовинами, потрапляють у водні об'єкти.

Структура системи санітарного очищення населених пунктів недосконала, її фрагментарність, роз'єднаність та різномірність без взаємодії з органами державної санітарно-епідеміологічної служби та охорони навколишнього середовища не забезпечує достатнього контролю за санітарним станом територій, а також збором, вивезенням, знешкодженням та захороненням побутових відходів.

***Сформована в країні ситуація з промисловими відходами склалася з наступних причин:***

- орієнтація економіки України протягом десятків років на розвиток сировинних і переробних галузей з структурою виробництва, що склалася під впливом цього;

- застарілі технології основних виробництв;

- багаторічне ставлення до проблеми відходів, як другорядної з боку законодавчої та виконавчої влади на державному та місцевому рівнях;

- відсутність діючих економічних важелів стимулювання переходу підприємств до самостійного вирішення власних екологічних проблем;

- незадовільне фінансове забезпечення заходів поводження з відходами;

- відсутність ефективної системи збору, збереження і видалення відходів;

- відсутність можливостей для контролю над матеріальним балансом виробництва;

- відсутність постійного контролю якості навколишнього середовища в місцях утворення, обробки та розміщення відходів.

Навіть в умовах загального спаду виробництва триває процес прогресуючого накопичення відходів.

## **1.2 КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ**

Державна політика в галузі утворення відходів та поводження з ними відображена в Законі України "Про відходи". Для виконання вимог цього закону були розроблені ДСТУ 17.9.01–99; 17.9.02–99 і 17.9.1.1–99, в яких визначені поняття "відходи", "поводження з відходами", "класифікація відходів" та ін..

***Поводження з відходами*** – дії, спрямовані на запобігання (мінімізацію) утворення відходів, перевезення, зберігання, обробку (переробку), утилізацію, видалення, знешкодження і поховання у тому числі і контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення.

Для вибору найбільш прийнятних методів переробки, утилізації та видалення відходів необхідно їх класифікувати.

**Класифікація відходів** – процес впорядкування даних про відходи, який включає ідентифікацію виду відходів відповідно з їх станом, складом і властивостями через номенклатурну назву, співвідношення з певним процесом утворення і видом економічної діяльності і віднесення до однієї з діючих систем угруповань або переліків (забруднень, вторинних ресурсів, токсикантів і таке інше), категорій речовин, матеріалів та інших об'єктів, а саме до певних видів переробки, утилізації та видалення відходів.

**Відходи виробництва** – це залишки сировини, матеріалів і напівфабрикатів, що утворюються в процесі виробництва продукції, які частково або повністю втратили свої якості і не відповідають стандартам. Ці залишки після попереднього оброблення, а іноді і без нього, можуть бути використані у сфері виробництва або споживання, зокрема для виробництва побічних продуктів.

Побічні продукти утворюються поряд з основними продуктами виробництва, але не є метою виробничого процесу. Вони в більшості випадків бувають товарними, на них є ДСТУ, ТУ, їх виробництво планується підприємством.

Виробничі відходи є наслідком недосконалості технологічних процесів, незадовільно організованого виробництва, а також недосконалого економічного механізму. До них відносять: відходи, що утворюються при механічній та фізико-хімічній переробці сировини і матеріалів; відходи, що утворюються при видобутку та збагаченні корисних копалин; речовини, які уловлюються при очищенні відведених технологічних газів та стічних вод.

**Відходи споживання** – вироби і речовини, що використовувались, – відновлення яких економічно недоцільно. Наприклад, зношені або застарілі автошини, матеріали виробничого призначення, що стали непридатні або застарілі вироби домашнього вжитку і особистого споживання (побутові відходи).

Сукупність відходів виробництва та споживання, які можуть бути використані, як сировина для випуску корисної продукції, називаються **вторинними матеріальними ресурсами** (ВМР).

Виходячи з можливостей використання ВМР їх можна поділити на реальні та потенційні ресурси. До реальних слід віднести ВМР, для використання яких створені ефективні методи та потужності для переробки, а також забезпечений ринок збуту; до потенційних – всі види ВМР, що не входять в групу реальних. До потенційних ВМР відносяться також побічні продукти, які в даний час використовуються недостатньо повно і є резерв матеріальних ресурсів для промисловості.

**Ресурси вторинної сировини** – кількісне вираження обсягів конкретних видів вторинної сировини. В ці обсяги не входять ті відходи виробництва, які використовують без доопрацювання в джерелах їх утворення і включають у внутрішньовиробничий баланс сировини.



Заготівлею вторинної сировини, тобто її збиранням, закупівлею, попередньою обробкою і концентрацією, займаються спеціалізовані заготівельні організації.

За способом використання відходів, як вторинної сировини їх можна розділити на чотири групи:

– **відходи як вторинна сировина**, яка використовується як добавка або повністю замість первинної сировини і матеріалів (види відходів пластмас і металів, макулатури, будівельних матеріалів тощо);

– **відходи як вихідний продукт** для виробництва вторинної сировини, призначеної для використання частково або повністю замість первинної сировини (наприклад, виробництво регенерату зі зношених шин з метою його використання як сировинної добавки у шинному виробництві замість каучуку; грануляту з відходів відпрацьованих виробів з термопластів замість первинної полімерної сировини; макулатурної маси з відходів паперу і картону для використання замість целюлози у виробництві паперу і картону);

– **відходи як сировина або матеріали, які можуть бути використані в іншому технологічному циклі** (наприклад, активоване вугілля, що відпрацювало свій ресурс в якості адсорбентів у виробництві вінілхлориду може бути використане для очищення газів від ртуті);

– **відходи як сировина або матеріали, які характеризуються принципово новими властивостями**, відсутніми у первинній сировині (наприклад, зола теплових електростанцій може використовуватися в ряді випадків у виробництві будівельних матеріалів в якості в'язучого замість цементу).

*Відходи класифікують за галузями промисловості (відходи хімічної, металургійної, електротехнічної та інших галузей) і за видами виробництв (відходи сульфатнокислотного, підшипникового виробництв та ін.)*

Всі промислові відходи можна розділити на два види: **нетоксичні і токсичні**. За своєю основною масою тверді відходи нетоксичні. Прикладами токсичних відходів можуть служити шлами гальванічних цехів і травильних ванн.

Відходи можна також класифікувати на **металеві і неметалеві**, а також **комбіновані**. Неметалеві відходи поділяються на **хімічно інертні** (відвали породи, зола таке інше) і **хімічно активні** (гума, пластмаси і таке інше). До числа комбінованих відходів відноситься всіляке промислове і будівельне сміття.

Відходи можна поділити на дві групи – **основні та побічні**. Основними є відходи матеріалів, використаних для виготовлення товарної продукції. Це металеві, металевовмістні (окалина, шлами, шлаки тощо) і неметалеві (деревина, пластмаси, гума, клей, текстиль, скло тощо) відходи.

До побічних відносяться відходи технологічних матеріалів і речовин, використаних або такі, що утворюються при проведенні технологічних процесів. Побічні відходи можуть бути твердими (абразиви, вогнетриви), рідкими (мастильно-охолоджуючі рідини, мінеральні мастила та інші нафтопродукти, відходи гальванічного виробництва) і газоподібними (гази).

Широко використовується класифікація відходів за ступенем їх шкідливого впливу на людину і навколишнє середовище.

Так, у країнах ЄС встановлено 14 категорій небезпеки відходів для здоров'я людини та ризику для навколишнього середовища:

1 – вибухонебезпечні; 2 – оксиданти; 3А – відходи з високим ступенем займистості; 3В – займисті; 4 – що дратують; 5 – шкідливі; 6 – токсичні; 7 – канцерогенні; 8 – корозійноактивні; 9 – інфекційні; 10 – тератогенні (пошкоджують зародки – ембріотоксичні); 11 – мутагенні (викликають спадкові зміни); 12 – виділяють при контакті з водою токсичні гази; 13 – виділяють небезпечні речовини; 14 – екотоксичні.

Відповідно до Тимчасового класифікатора токсичних промислових відходів і "Методичним рекомендаціям щодо визначення токсичності промислових відходів" (1987 р.) відходи також діляться на чотири класи небезпеки:

– до відходів 1-го класу небезпеки відносяться ціаніди, ртуть, міді, хрому, кадмію, нікелю та інших важких металів оксиди, фосфор п'ятисірчистий, хлорорганічні сполуки, бенз-а-пірен, інсектициди, а також відходи, що містять ці компоненти в значних концентраціях;

– до відходів 2-го класу небезпеки відносяться миш'як, нафтопродукти, спирти, смоли, сульфатна кислота, фенол, толуол і відходи, утримуючі ці компоненти в значних концентраціях;

– до відходів 3-го і 4-го класів небезпеки відносяться відходи, утримуючі небезпечні речовини 1-го і 2-го класів небезпеки в невеликих концентраціях, а також шлаки та інші відходи.

За фізичним станом відходи діляться на тверді, рідкі та газоподібні.

За джерелами виникнення відходи підрозділяються на побутові, промислові та сільськогосподарські.

**Класифікація промислових відходів на Україні здійснюється за Міждержавним стандартом 17.9.0.2.–99, який заснований на систематизації відходів за наступними ознаками:**

– за галузями промисловості – паливно-енергетичного комплексу, металургійного, машинобудівного, хімічного виробництва, переробки деревини, виробництва будівельних матеріалів;

– за конкретними виробництвами – відходи сульфатнокислотного, содового, фосфатно-кислотного та інших виробництв;

– за агрегатним станом – тверді, рідкі, газоподібні.

За можливістю переробки відходи діляться на:

а) ВМР – це сукупність всіх видів відходів, які можуть бути використані в якості основної і допоміжної сировини для випуску нової продукції. ВМР діляться на реальні, – для яких створені ефективні методи та потужності для переробки і забезпечення ринку збуту (папір, ганчір'я, металобрухт, скло тощо) і потенційні – всі види вторинних ресурсів, що не ввійшли в групу реальних;

б) відходи, які переробляти недоцільно і які створюють безповоротні втрати.

**Токсичність** – це здатність сполук викликати отруєння або інші ураження живих істот. Попередня оцінка небезпеки речовини починається в лабораторії, де вона синтезована, а завершується при виборі альтернативної технології виведення її з вживання. Оцінка небезпеки речовини здійснюється тільки експериментально спочатку на тваринах, а потім на людині.

З існуючих класифікацій відходів за токсичністю найбільший інтерес викликають:

– класифікація, яка застосовується в гігієнічній практиці – в залежності від шляху введення (інгаляційний чи ентеральний)

– на основі гранично допустимих концентрацій (ГДК) хімічних речовин. Виділяють 4 класи небезпеки: 1-й клас небезпеки – надзвичайно небезпечні, 2-й – високонебезпечні, 3-й – помірно небезпечні, 4-й – мало небезпечні.

Клас небезпеки відходів встановлюється в залежності від вмісту в них токсичних речовин розрахунковим методом або відповідно до переліку відходів, які наведені у Державному класифікаторі відходів.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

В Україні відзначено тенденцію до збільшення обсягу утворених і вивезених на полігони ТПВ. Серед ТПВ збільшується частка відходів, які не піддаються швидкому розкладу і потребують значних площ для зберігання. Міністерство охорони навколишнього середовища оцінює концентрацію в Україні всіх видів відходів об'ємом близько 35 млрд. т. Витрати на складування і захоронення відходів становлять майже 20 відсотків вартості продукції. У сільських населених пунктах немає спеціалізованих підприємств у сфері поводження з побутовими відходами та санкціонованих звалищ. Побутові відходи скидають у природні рельєфні утворення – балки, яри, долини річок. Навіть в умовах загального спаду виробництва триває процес прогресуючого накопичення відходів.

Структура системи санітарного очищення населених пунктів недосконала, її фрагментарність, роз'єднаність та різномірність без взаємодії з органами державної санітарно-епідеміологічної служби та охорони навколишнього середовища не забезпечує достатнього контролю за санітарним станом територій, а також збором, вивезенням, знешкодженням та захороненням побутових відходів.

Класифікація промислових відходів на Україні здійснюється за Міждержавним стандартом 17.9.0.2.–99, який заснований на систематизації відходів. Однак виходячи з того, що одночасно існує ряд таких систем можна зробити наступний висновок – єдиної системи класифікації немає навіть зараз.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1:

1. Відходи. Визначення терміну.
2. Як пов'язане виробництво з утворенням відходів.
3. Який спосіб утилізації відходів є найбільш розповсюдженим в Україні.
4. Завдяки яким причинам склалася сформована в країні ситуація з відходами.
5. Класифікація відходів. Визначення.
6. Що таке вторинні матеріальні ресурси?
7. На які групи можна розділити відходи за способом використання як вторинної сировини?
8. Скільки категорій небезпеки відходів встановлено у країнах ЄС?
9. Які відходи відносяться до відходів I класу згідно тимчасового класифікатору токсичних промислових відходів?
10. За якими ознаками здійснюється класифікація промислових відходів на Україні за Міждержавним стандартом 17.9.0.2.-99?

## 2 НОРМАТИВНО–ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ ВІДХОДАМИ

### 2.1 ВИЗНАЧЕННЯ ПРАВОВОГО ПРОСТОРУ

На початку 80-х рр. ХХ ст. небезпечні відходи стали займати домінуюче місце серед інших екологічних проблем розвинутих країн. Ситуація не змінилася і на сьогоднішній день.

Законом України "Про відходи" [5] сформовано правовий простір у сфері поводження з відходами. Стаття 4 Закону відносить до його компетенції питання, не відрегульовані актами, що регламентують природокористування та господарську діяльність (Кодекси водний і про надра, Закон "Про охорону атмосферного повітря" та ін.)

З огляду на те, що цей Закон визначає компетенцію різних владних структур і передбачає значне число систем обліку, контролю, інформаційного забезпечення та інших компонентів поводження з відходами, зупинимося на тих його елементах, які повинні забезпечити цілісність поводження з відходами на всіх стадіях життєвого циклу виробництва, товарів і послуг, а також відповідних інформаційних технологій.

Основна спрямованість Закону, відповідно до глобального переходу від боротьби з наслідками забруднень навколишнього середовища до їх запобігання та до мінімізації матеріально-енергетичних перетворень на всіх стадіях життєвого циклу, може бути сформульована як:

- мінімізація утворення відходів в їх джерелі усіма технічними і економічними прийнятними заходами;
- максимальне використання (переробка, кондиціонування) раніше накопичених відходів та утилізація їх матеріального та енергетичного потенціалу усіма технічно і економічно доступними засобами;
- видалення відходів в навколишнє середовище максимально безпечними шляхами, як вимушений захід при неможливості поводження з ними вищевказаними способами.

Статті 5, 6 і 26 Закону [5] передбачають створення єдиної системи обов'язкового державного обліку та паспортизації відходів, заснованої на стандартах та ін. нормативних документах, що регламентують паспортизацію та класифікацію відходів. Додатково до термінології, встановленої статтею 1 Закону, основні поняття в цій галузі можуть бути визначені наступним чином:

**Державний облік відходів** – узгоджене документування даних про відходи на всіх стадіях поводження з ними, включаючи первинне виявлення в процесах утворення або в місцях накопичення, бухгалтерську проводку як матеріальних цінностей, відображених в технічній документації за місцем утворення і на об'єктах поводження з відходами, а також у статистичній звітності та ін. системах державного територіального або галузевого управління.

**Інвентаризація в сфері поводження з відходами** – складання списків відходів, місць їх утворення та об'єктів поводження з ними.

**Класифікація відходів** – процес впорядкування даних про відходи, що включає ідентифікацію конкретного виду відходів у відповідності до його стану, складу та властивостей через номенклатурну назву, співвідношення з певним процесом утворення та видом економічної діяльності, кодифікацію за державним класифікатором і віднесення до будь-яких інших діючих систем групування (забруднювачів, вторинних ресурсів, токсикантів або інших категорій речовин, матеріалів чи об'єктів), а також з певними видами переробки, утилізації та видалення відходів.

**Матеріальний** (матеріально-енергетичний) **баланс** – співвідношення кількісних показників (маси, об'єму і т.п.) речовин (продуктів) і енергоносіїв, що входять в процес, де утворюються відходи, речовин (продуктів) і енергоносіїв, які утворюються в цьому процесі, включаючи готову продукцію, побічні продукти і відходи. Матеріальний (матеріально енергетичний) баланс визначається шляхом аналізу матеріальних (матеріально-енергетичних) потоків і перетворень у технологічних процесах з використанням бухгалтерського обліку тощо.

**Паспортизація відходів** – процес послідовного виявлення, документування та уточнення даних про найменування, місце, умови, обсяги утворення та накопичення кожного конкретного виду відходів, його технічних, фізико-хімічних, технологічних, екологічних, економічних та інших показників, методи їхнього вимірювання та контролю (у т.ч. врахованих факторах впливу) і поля значень, а також про технології переробки, зберігання, транспортування та утилізації чи видалення даного виду відходів.

Загальна система державного обліку та паспортизації відходів передбачена статтею 26 Закону України "Про відходи", показана на рис. 2.1.



Рис. 2.1 – Схема здійснення системи державного обліку та паспортизації у сфері поводження з відходами

Загальним першоджерелом інформації для обліку та паспортизації відходів є оцінка матеріального (матеріально-енергетичного) балансу процесів, в яких вони утворюються. Відповідно до статті 12 Закону джерелом інформації про безгосподарні відходи є акт відповідної постійно діючої комісії. При первинному обліку і в процесі паспортизації передбачається також використання даних всіх раніше проведених інвентаризацій, статистичної звітності, екологічної паспортизації підприємств, встановлених лімітів, дозволів та інших джерел відомостей.

Організація обліку та паспортизації у сфері поводження з відходами покладається Законом на місцеві держадміністрації. Введення всіх форм обліку у сфері поводження з відходами має здійснюватися відповідно до Закону через Держкомстат України за поданням Мінекобезпеки та інших зацікавлених міністерств і відомств.

Вимоги до паспортизації та класифікації відходів відповідно до статті 6 повинні бути стандартизовані. Сьогодні з ініціативи Міністерства екологічної безпеки і Держстандарту України в міждержавній системі природоохоронних стандартів створена нова група ДСТУ 17.9 ... "Охорона природи. Поводження з відходами" та розроблено положення її основоположного стандарту. Одночасно завершена розробка, узгодження на рівні держав-членів СНД та прийнято рішення про введення як ДСТУ наступних стандартів, що регламентують паспортизацію відходів:

- ДСТУ 17.9.0.1-XX Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Загальні вимоги.

- ДСТУ 17.9.1.1-XX Охорона природи. Поводження з відходами. Класифікація відходів. Порядок найменування відходів за генетичним принципом і віднесення їх до класифікаційних категорій.

- ДСТУ 17.9.0.2-XX Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу. Склад, зміст, виклад і правила внесення змін (нова редакція ДСТУ 17.0.0.05-93 / ДСТУ 2195-93 /).

На рис. 2.1 показано, що паспортизація створює "додатковий вимір" в просторі інформаційного забезпечення управління поводження з відходами в порівнянні з традиційними підходами до даної проблеми. Якщо вся існуюча система обліку і статистики спрямована на створення та впорядкування великих масивів інформації про множини відходів, то паспортизація, за певним алгоритмом послідовно виявляє і систематизує дані про кожний конкретний вид відходів. Цей процес охоплює весь цикл поводження з конкретним видом відходів і стимулює всіх його учасників, як до оптимізації промислових процесів, що породжують відходи, так і до вибору найбільш ефективних технологій їх переробки, утилізації або видалення.

Утворений в результаті новий простір даних, показаний на рис. 2.1, має якісно змінити підхід до управління поводження з відходами на всіх рівнях, починаючи з виробничої і комунальної сфер, закінчуючи різними аспектами

техногенно-екологічної безпеки, сталого соціально-економічного розвитку регіонів та міжнародного співробітництва.

Передбачається, що дія вищеприписаного механізму реалізації вимог Закону буде здійснюватися послідовно, шляхом відпрацювання його за регіонально-галузевим принципом, тобто на групах підприємств та відповідних служб в кількох областях України. Одночасно передбачається здійснення Мінекобезпеки спільно з МОЗ, Держкомстатом, Держбудом, Мінпромполітики, Держкомгеології, Мінвуглепромом, Мінагропромом, Мін'юстом іншими заінтересованими міністерствами, відомствами і органами адміністративно-територіального управління ревізії всіх чинних нормативних документів, що регламентують облік поводження з відходами, і приведення їх у відповідність до вимог Закону.

Впорядкування нормативної бази істотно підвищить ефективність класифікації відходів згідно з вимогами ДСТУ 17.9.1.1-XX. З іншого боку це повинно спростити процедуру визначення переліку показників кожного відходу, що підлягають контролю, і, відповідно, спрощення відношення підприємств-виробників та переробників відходів з контрольно-наглядовими органами. Відповідно до розглянутої схеми державного обліку та паспортизації, вимоги до повноти такого переліку показників повинні вичерпуватися діючими нормативними документами (НД) на технології, речовини, матеріали, відходи і за відповідних аспектів природокористування та техногенно-екологічної безпеки. Повний перелік таких НД виявляється при оцінці матеріального балансу за ДСТУ 17.9.0.2-XX, виконання вимог державного обліку, послідовної реалізації класифікаційних вимог ДСТУ 17.9.1.1-XX, визначенні технологій поводження з конкретним видом відходів і при уточненні даних Технічного паспорта відходу у відповідності з ДСТУ 17.9.0.2-XX.

У той же час такий підхід стимулює подальший розвиток державної системи класифікації відходів. Передбачається створення провідними інститутами та підприємствами галузевих автоматизованих класифікаторів – каталогів, як основи формування інформаційних технологій у сфері поводження з відходами, побудованими за технологічним принципом. Цей аспект особливо важливий з точки зору прогнозування утворення відходів згідно ДСТУ 17.9.0.1-XX і прийняття рішень з т.зв. техногенними родовищами і іншими скупченнями відходів, які утворилися раніше.

Ще більш істотним спільним завданням паспортизації та обліку є нормування у сфері поводження з відходами. Тут також можливий якісно новий підхід на основі інформаційних технологій, що поєднують можливості обох напрямків, показаних на рис. 2.1.

Таким чином, передбачене Законом здійснення державного обліку та паспортизації, як єдиного механізму у сфері управління поводження з відходами відкриває принципово нові можливості для узгодженої реалізації своїх функцій підприємствами-виробниками та переробниками відходів, відповідними структурами територіального управління, Мінекобезпеки, МОЗ, іншими органами виконавчої влади та їх підрозділами на місцях.



Впровадження єдиної системи обов'язкового державного обліку та паспортизації у сфері поводження з відходами може також служити досить ефективним інструментом для здійснення контролю над безпекою транспортування відходів, особливо в аспекті їх транскордонних переміщень. Останнє є найбільш важливим з точки зору виконання зобов'язань України про приєднання до Базельської Конвенції, передбачених статтею 63 Угоди про партнерство і співробітництво з ЄС.

## **2.2 ЗАКОНОДАВЧА БАЗА**

Правові основи стимулювання утилізації та переробки відходів були надані Законом України "Про охорону навколишнього середовища" [6], як елемент системи економічного забезпечення охорони навколишнього середовища.

Основні напрямки нормативно-правового регулювання використання відходів:

- забезпечення раціонального природокористування;
- максимальна реалізація ресурсного та енергетичного потенціалу відходів;
- впровадження загальних принципів оцінки ресурсної цінності відходів;
- забезпечення пріоритетності використання відходів як вторинної сировини;
- формування вторинної ресурсної бази та ринку вторинних ресурсів;
- сприяння розвитку підприємницької та комерційної діяльності в сфері збору, переробки, попередньої обробки та утилізації відходів як вторинних ресурсів;
- встановлення санкцій за недбале поводження з ресурсно-цінними відходами;
- встановлення комплексу заходів щодо стимулювання використання відходів.

Комплекс заходів щодо стимулювання використання відходів повинен включати:

- встановлення податкових пільг;
- застосування підвищених норм амортизації основних виробничих фондів, пов'язаних з діяльністю з утилізації відходів;
- введення транспортних дотацій з місцевого бюджету для перевезення відходів з метою утилізації сировини або напівфабрикатів, отриманих з цих відходів;
- звільнення від оплати викупу прав оренди земельних ділянок підприємств, які займаються збиранням, заготівлею та виробництвом продукції з відходів;
- зменшення податку на прибуток від реалізації продукції, виготовленої з використанням відходів залежно від масової частки відходів у складі сировини;

– зменшення податку на додану вартість на продукцію, виготовлену з відходів;

– зменшення податку на прибуток, отриманий в результаті діяльності з первинного збору і здачі вторинної сировини (за спеціальним переліком) заготівельним організаціям чи безпосередньо переробним підприємствам, якщо ця діяльність здійснюється в установленому порядку;

– зменшення ставки з оплати за землю;

– надання податкових пільг у межах відповідних повноважень;

– пріоритетне надання державних кредитів і встановлення спеціальних субсидій (з обласного та місцевих бюджетів) на зменшення відсотків за банківські кредити, пов'язаних з інвестиціями в утилізацію відходів і виготовлення відповідного устаткування;

– повне або часткове звільнення підприємств, які займаються діяльністю з утилізації відходів, від оплати за землю, інших обов'язкових платежів в межах відповідних повноважень і т.п.

Результатом робіт з реалізації зазначених заходів має стати оптимальна за структурою та складом система нормативно-правового та методичного забезпечення діяльності в сфері поводження з відходами.

З 159 статей Конституції України [7] 15 мають пряме чи опосередковане відношення до охорони природи. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" був прийнятий 25 липня 1991 року. На основі цього закону будується все екологічне законодавство країни. У цьому законі понад 22 статей присвячено питанням відходів.

Тут же було опубліковано ще 9 документів спеціального законодавства:

1) чотири кодекси України:

– Земельний [8];

– Водний [9];

– Лісовий [10];

– Про надра [11];

2) три закони України:

– Про охорону атмосферного повітря [12];

– Про екологічну експертизу [13];

– Про Червону книгу України [14].

5 березня 1998 р. був прийнятий Закон України "Про відходи". Закон визначає правові, організаційні та економічні засади діяльності, пов'язані з попередженням або зменшенням обсягів утворення відходів, їх збиранням, перевезенням, зберіганням, обробленням, утилізацією та видаленням, знешкодженням та похованням, а також із запобіганням негативного впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я людини на території України.

Закон регулює відносини, які стосуються майже всіх видів відходів. Не розглядає поводження з газоподібними речовинами, які не вловлюються, викидаються безпосередньо у повітря, речовинами, які скидаються з зворотними водами у водні об'єкти (крім тих, що акумулюються і підлягають вивезенню у спеціально відведені місця складування), радіоактивними відходами і речовинами, розкритими породами гірничодобувних підприємств,

які використовуються для заповнення виробленого простору та перепланування рельєфу місцевості.

У Законі "Про відходи" були сформульовані основні напрями державної політики:

- забезпечення повного збору, своєчасного знешкодження та видалення відходів, а також дотримання правил екологічної безпеки при поводженні з ними;

- зведення до мінімуму утворення відходів та зменшення їх небезпечності;

- забезпечення комплексного використання матеріально-сировинних ресурсів;

- сприяння максимально можливій утилізації відходів шляхом прямого повторного чи альтернативного використання ресурсно-цінних відходів;

- забезпечення безпечного видалення відходів, які не підлягають утилізації, шляхом розробки відповідних технологій, екологічно безпечних методів і способів поводження з відходами;

- організація контролю місцях або об'єктах розміщення відходів для запобігання шкідливого впливу їх на навколишнє середовище та здоров'я людини;

- здійснення комплексу науково-технічних і маркетингових досліджень для виявлення і визначення ресурсної цінності відходів з метою їх ефективного використання;

- сприяння створенню об'єктів поводження з відходами;

- забезпечення соціального захисту працівників, зайнятих у сфері поводження з відходами;

- обов'язковий облік відходів на основі їх класифікації та паспортизації.

1 березня 1999 р. було опубліковано Постанову кабінету міністрів № 303 "Про затвердження порядку нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору".

Тим не менш, основною причиною несприятливої ситуації є відсутність в Україні системи управління промисловими відходами, заснованої на принципах раціонального природокористування, сучасних технологіях екологічного благополуччя екосистеми в цілому і людей, як її складової частини.

### **2.3 СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ ВІДХОДАМИ**

Термін "система управління промисловими відходами" (СУПВ) в законодавчій базі України і нормативно-методичних документах відсутня. Виходячи з результатів аналізу ситуації, що склалася, УКРНДІЕ була розроблена система управління промисловими відходами (СУПВ), що базується на принципах міжнародних стандартів ISO 14001 та ISO 14004.

Що ж включає поняття "система управління промисловими відходами"?

**СУПВ** – це частина загальної системи управління, що включає до свого складу організаційну структуру, діяльність з планування, обов'язки і

відповідальність, практику процедури, процеси і ресурси для формування, впровадження, досягнення, аналізу та актуалізації політики у сфері поводження з промисловими відходами.

У СУПВ на регіональному рівні виділяються, принаймні, три рівних ієрархії (рис. 2.2).

Верхній рівень управління промисловими відходами здійснюється в рамках регіону.

Об'єктами управління є промислові підприємства (на яких утворюються відходи), державні органи екологічної та санітарно-епідеміологічної безпеки, спеціалізовані підприємства з переробки, транспортування, знешкодження і поховання відходів, НДІ і проектні організації, біржі сировини і вторинних матеріальних ресурсів, позабюджетні фонди охорони навколишнього середовища.

Керуюча дія полягає в нормуванні утворення на промислових підприємствах відходів з визначенням їх сумарних та індивідуальних обсягів і адміністративно-економічною дією на об'єктах управління.

Другий рівень управління промисловими відходами здійснюється в рамках групи підприємств, які мають загальне адміністративне та фінансово-господарське керівництво.

На цьому рівні вирішення завдання з управління відходами може вибиратися з наступного:

- переробка та повне повернення промислових відходів, що утворилися в виробничий цикл самого підприємства для виробництва основної або додаткової продукції;

- переробка та передача промислових відходів на спеціалізовані підприємства по знезараженню і похованню;

- переробка промислових відходів у ВМР;

- комбіноване рішення.

На рівні групи підприємств суб'єктом управління є керівництво компанією, а керуючим дією – об'єднання адміністративних рішень та фінансового стимулювання вирішення проблеми відходів в рамках компанії.

У СУПВ відображені основні вимоги до системи управління НС:

- постановка на облік відходів, місць і об'єктів їх утворення, утилізації та видалення;

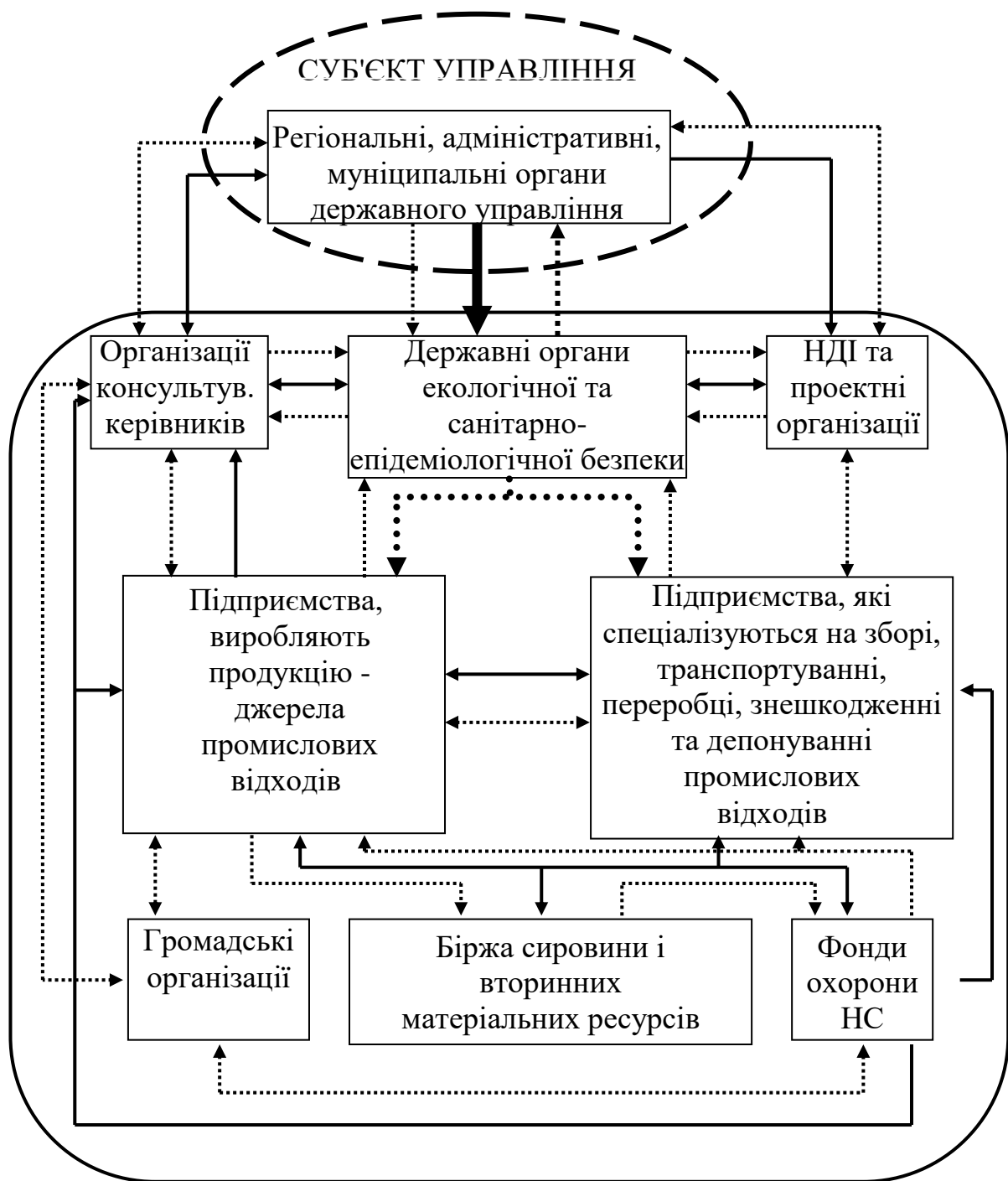
- регламентація первинного виробничого обліку і поточного контролю утворення відходів та поводження з ними;

- встановлення нормативів утворення відходів, як базових показників, на основі яких здійснюється управління ними;

- вартісна оцінка відходів, виходячи з основних напрямків поводження з ними;

- організація інформаційної бази даних для прийняття управлінських рішень;

- інтеграція управління освітою відходів і поводженням з ними в загальну систему управління підприємством.



➔ Керуюча роль адміністрації    .....➔ Керуюча роль державного контролю  
 .....➔ Пошук інформації                      ↔ Керуюча дія на основі ринкових відносин

Рис. 2.2 – Схема управління в регіональній СУПВ

Третій, нижчий рівень управління промисловими відходами здійснюється в рамках одного підприємства (відокремленого підрозділу). На цьому рівні управління відходами здійснюється адміністрацією підприємства (відокремленого підрозділу підприємства) на основі техніко-економічного

обґрунтування та експертизи по вище перерахованого набору варіантів. Суб'єктом управління є керівництво підприємства (відокремленого підрозділу підприємства), а керуючі дії зазвичай носять адміністративний характер.

## **2.3 ОБЛІК І ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ**

Постановка на облік відходів, місць і об'єктів їх утворення, утилізації та знешкодження забезпечується за рахунок створення класифікатора відходів підприємств.

Для цього в Україні було введено в дію Державний класифікатор відходів (ДК 005–96), створений на основі принципів класифікації відходів, виходячи з їх походження і умов утворення. Зазначений класифікатор виконує функції:

- реєстра відходів, які утворюються і прогноуються;
- показника уніфікованих найменувань відходів;
- реєстру місць і об'єктів утворення, утилізації та видалення відходів;
- засобу інформаційної підтримки екологічної політики і маркетингу в сфері поводження з відходами.

Під *інвентаризацією* відходів розуміють: виявлення відходів, визначення їх кількості і складу, ідентифікацію, встановлення уніфікованих найменувань відходів, документальне оформлення результатів.

Виявлення відходів здійснюється згідно Міждержавного стандарту ДСТУ 17.9.0.1 – 99 "Виявлення відходів".

На підставі результатів інвентаризації складають технічні паспорти для кожного джерела відходів окремо, в тому числі і при переробці відходів, а потім узагальнені паспорта на установку, агрегат, відділення, цех, завод, комбінат.

Паспорт повинен відповідати ДСТУ 17.9.0.2–99 (див. Додаток). У нього вводять дані про найменування об'єкта – джерела викиду, місце викиду, умови та обсяги кожного окремого виду відходів, його технічні, фізико–хімічні, технологічні, екологічні, економічні та інші показники.

### **2.3.1 Небезпечні відходи і регулювання поводження з ними**

Під *небезпечними відходами* розуміють відходи (тверді речовини, рідини і гази в контейнерах, за винятком радіоактивних та інфекційних), які внаслідок їх хімічної активності або токсичності, вибухових, корозійних та інших властивостей заподіюють або можуть заподіяти небезпеку здоров'ю людини або навколишньому природному середовищу самотійно або при входженні в контакт з іншими відходами [15].

До *токсичних і небезпечних* відносяться відходи, які мають *такі властивості*:

1) вибухові речовини або відходи – це тверді або рідкі відходи (суміш речовин чи відходів), які самі по собі здатні до хімічної реакції з виділенням

газів такої температури (тиску) і з такою швидкістю, яка викличе пошкодження оточуючих предметів;

2) вогненебезпечні рідини рівнозначні терміну "легкозаймисті". Це такі рідини (суміші рідин), які містять тверді речовини в розчині чи суспензії (фарби, політури, лаки і т.п.). Крім речовин чи відходів, класифікованих відповідно їх небезпечним властивостям, які виділяють вогненебезпечні пари, при температурі не вище 60,5 °С в закритому посуді або не вище 65,6 °С у відкритому посуді;

3) вогненебезпечні тверді речовини чи відходи (окрім класифікованих як вибухові), які в умовах процесу транспортування здатні легко загорятися або можуть викликати (посилювати) пожежу при терті;

4) речовини або відходи, здатні самозайматися при випадковому нагріванні при нормальних умовах перевезення чи нагріватися при зіткненні з повітрям, а потім здатні самозайматися;

5) речовини чи відходи, які при взаємодії з водою здатні ставати самозаймистими або легкозаймистими;

6) речовини–окиснювачі, самі по собі не обов'язково горючі, але за рахунок виділення кисню можуть викликати загоряння або сприяти загорянню інших матеріалів;

7) органічні перекиси – органічні речовини, які містять бівалентні групи, які є термічно нестійкими речовинами і піддаються екзотермічному розкладанню;

8) токсичні (отруйні) речовини чи відходи, які при попаданні всередину організму через органи дихання, травлення чи через шкіру, здатні викликати смерть людини чи негативно впливати на неї;

9) речовини чи відходи, які інфікують, які містять живі мікроорганізми або їх токсини, які викличуть захворювання тварин або людей;

10) корозійні речовини чи відходи, які шляхом хімічного впливу можуть при безпосередньому контакті викликати серйозні пошкодження живої тканини в разі витоку або розсипання можуть викликати пошкодження і навіть руйнування інших вантажів чи транспортних засобів; вони також можуть викликати інші види небезпеки;

11) речовини чи відходи, які при взаємодії з повітрям чи водою можуть виділяти токсичні гази в небезпечних об'ємах;

12) токсичні речовини, які викличуть затяжні або хронічні захворювання, включаючи ракові, при попаданні всередину організму через органи дихання, травлення чи через шкіру.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2**

Законом України "Про відходи" сформовано правовий простір у сфері поводження з відходами. При цьому організація обліку та паспортизації у сфері поводження з відходами покладається Законом на місцеві держадміністрації. Введення всіх форм обліку у сфері поводження з відходами має здійснюватися

відповідно до Закону через Держкомстат України за поданням Мінекобезпеки та інших зацікавлених міністерств і відомств.

При такій організації впорядкування нормативної бази істотно підвищить ефективність класифікації відходів згідно з вимогами ДСТУ 17.9.1.1-XX. У той же час такий підхід стимулює подальший розвиток державної системи класифікації відходів.

Таким чином, передбачене Законом здійснення державного обліку та паспортизації як єдиного механізму у сфері управління поведженням з відходами відкриває принципово нові можливості для узгодженої реалізації своїх функцій підприємствами-виробниками та переробниками відходів, відповідними структурами територіального управління, Мінекобезпеки, МОЗ, іншими органами виконавчої влади та їх підрозділами на місцях.

Запровадження єдиної системи обов'язкового державного обліку та паспортизації у сфері поведження з відходами може також служити досить ефективним інструментом для здійснення контролю над безпекою транспортування відходів, особливо в аспекті їх транскордонних переміщень. Тим не менш, основною причиною несприятливої ситуації є відсутність в Україні системи управління промисловими відходами (СУПВ), заснованої на принципах раціонального природокористування, сучасних технологіях і екологічного благополуччя екосистеми в цілому і людей як її складової частини.

Розробка нових матеріалів та використання їх в народному господарстві потребує деталізації визначення та регулювання поведження для значної кількості небезпечних відходів, що утворюються. Тому нашим часом, такий термін як небезпечні відходи вже включає 12 ознак та властивостей.

## **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 2:**

1. В чому є основна спрямованість Закону "Про відходи"?
2. Що таке державний облік відходів?
3. Для чого необхідна класифікація відходів?
4. Для чого необхідна паспортизація відходів?
5. Як впорядкування нормативної бази може підвищити ефективність класифікації відходів?
6. Що повинен включати комплекс заходів щодо стимулювання використання відходів?
7. Основні напрями державної політики згідно закону "Про відходи".
8. Що включає поняття "система управління промисловими відходами"?
9. Які об'єкти управління у СУПВ?
10. Яку послідовність дій розуміють під інвентаризацією відходів?



## **3 ПРОМИСЛОВІ ВІДХОДИ. МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ТА ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ**

### **3.1 ВИБІР СПОСОБІВ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ**

При виборі способів переробки відходів необхідно врахувати наступні міркування:

- в який продукт необхідно переробити відхід;
- де здійснювати переробку;
- куди направляти продукт переробки.

При виборі місця переробки відходи необхідно попередньо розділити на такі групи:

- 1) відходи, які доцільно переробляти безпосередньо в цеху, де вони утворюються. Це відноситься до відходів, з яких можна виділити сировину або продукт, який не вступив у реакцію;
- 2) відходи, які доцільно переробляти на загальнозаводських централізованих станціях;
- 3) відходи, які доцільно відправляти на спеціалізовані заводи.

Вибір методу переробки слід визначати виходячи з таких характеристик відходів: агрегатний стан відходу; хімічний склад; токсикологічний; пожежо- та вибухонебезпечні властивості відходів; кількість відходів.

Продукти, які одержують у результаті переробки відходів можна розділити на три групи:

- речовини, які повертаються в цикл – сировина, проміжні і побічні продукти;
- товарна продукція – додаткова кількість готового продукту, яку можна вилучити з відходів; побічні продукти, доведені до товарної кондиції;
- продукти, які направляються в навколишнє середовище, нешкідливі або знешкоджені відходи.

Для утилізації та знешкодження промислових відходів найбільш поширеними є наступні методи підготовки та переробки відходів [3, 16–22].

#### ***Подрібнення відходів:***

– ***Дроблення*** – подрібнюються шматки (шлак, пластмаса і таке інше). З розміром від 1000 до 20 мм до розміру 250...1 мм в конусних, щоккових, валкових і роторних дробарках;

– ***Помел*** – подрібнення матеріалів від 0,1...0,001 мм за допомогою млинів різного типу.

***Укрупнення*** розмірів частинок при підготовці до переплавки дисперсних відходів чорної і кольорової металургії, пластмас, пилу та інших ВМР:

– ***Грануляція*** здійснюється в різних грануляторах катанням, грануляцією, пресуванням.

– **Таблетування** – машини пігулок різних типів пресують певні дози матеріалів у матричні канали. Пігулки випускають у вигляді циліндрів, сфер, дисків, кілець і таке інше.

– **Брикетування** застосовується з метою надання відходам компактності, яка покращує умови їх збереження та транспортування. Здійснюється за допомогою пресів різних конструкцій;

– **Високотемпературна агломерація**: з ВМР (окалина, пил, піритові недогарки, дрібнодисперсні відходи, які містять залізо) готують шихту, яка включає: паливо, концентрат, флюси, відходи. При горінні палива відбувається спікання мінеральних компонентів шихти.

**Класифікація та сортування за фракціями.** Здійснюється просіюванням і грохоченням на плоских (розташованих похило) і циліндричних грохотах (обертіві циліндри) за допомогою сит, ґрат, грохотів; гідравлічною і повітряною сепарацією циклонами і різними сепараторами.

Відходи, які складаються з крихких частинок подрібнюються і при розсіянні легше проходять через отвори сит, ніж міцні (в'язучі).

– **Збагачення** – виділення одного або кількох компонентів із загальної маси відходів:

– **Гравітаційні способи** (мокрі і сухі): засновані на різній швидкості осаджуванні частинок, що значно відрізняються по щільності (міцності) і крупності в потоці рідини чи газу або під дією відцентрової сили.

Ці способи поділяються на:

- збагачення в "важких" суспензіях;
- збагачення в потоках, які переміщуються по похилій поверхні;
- збагачення промиванням.

**Відсадження** – це процес розділення мінеральних частинок за щільністю під дією змінних у напрямку вертикальних струменів;

**В "важких" суспензіях** розділення проходить за допомогою суспензій і рідин, щільність яких є проміжною між щільністю поділюваних частинок, легкий мінерал забирається потоком рідини, а матеріал, що має велику щільність, осідає (сепаратори);

**Збагачення в потоках на похилій поверхні** відбувається під дією різноспрямованих потоків води в тонкому шарі (концентраційні столи, шлюзи, сепаратори).

**Промивання** застосовується для відділення глинистих, піщаних та інших матеріалів, а також органічних домішок від твердих відходів. Здійснюється в промивних машинах водою, водою з додаванням ПАР, гострим паром або різними розчинниками.

Окрему групу методів становлять **електромагнітні методи**, призначені для відділення із загальної маси відходів електромагнітних матеріалів.

**Магнітні методи** тісно переплітаються з гравітаційними, а також використовуються в деяких видах флотації і сепарації. Вони дозволяють створити потужні сили впливу на матеріали, які перевищують силу гравітації в 100 і більше разів, що полегшує процеси розподілу. Ці методи мають високу

виборчу здатність, екологічну чистоту, простоту обслуговування і низьку собівартість.

**Магнітні методи** використовують для відділення парамагнітних і феромагнітних компонентів сумішей твердих матеріалів від їх діамагнітних складових. Магнітною сепарацією можна виділити речовини з питомою магнітною сприйнятливістю вище 10 м/кг. Феромагнітні властивості мають залізо та його сплави, а також магнетит ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), маггеліт ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), пірротін, титаномагнетит, феросиліцій, франклін, сидерит, слабوماгнітні заліза оксиди після їх випалу та деякі інші речовини. Ряд заліза оксидів, гідроксидів і карбонатів, марганцю, хрому та ін. металів відноситься до матеріалів з слабوماгнітних. Різні мінерали (кварц, польові шпати, кальцит тощо) відносяться до немагнітних матеріалів.

Слабوماгнітні матеріали збагачують в сильних магнітних полях (напруженістю  $H = 800\dots1600$  кА/м), феромагнітні – в слабких полях ( $H = 70\dots160$  кА/м). Магнітні поля промислових сепараторів бувають в основному постійними або перемінними; комбіновані магнітні поля застосовують рідше.

**Магнітна сепарація.** У магнітних сепараторах неоднорідність магнітного поля створюється полюсними наконечниками особистої форми.

Для отримання магнітних полів з малою величиною *grad H* застосовують природні або штучні магніти зі спеціальних сплавів з постійним магнітним полем. Сильні магнітні поля з високим градієнтом напруженості створюються котушками, що живляться постійним струмом й обладнані сталевими сердечниками. При цьому, чим більша величина намагнічувального струму і кількість витків в котушці, тим вища напруженість магнітного поля в робочому зазорі сепаратора.

Принцип роботи магнітного сепаратора схематично зображений на рис. 3.1.

Крім магнітної сили, на частку, що знаходиться в робочій зоні сепаратора, діють сила тяжіння, сила тертя, відцентрова сила і опір середовища.

Для успішного розділення магнітних і немагнітних частинок в магнітному полі сепаратора магнітна сила, що діє на магнітні частки, повинна перевищувати рівнодіючу всіх механічних сил. Взаємодія між усіма силами залежить від способу подачі сировини в робочу зону сепаратора, конструктивних особливостей апарата, режиму його роботи.

Матеріали, що підлягають магнітній сепарації, як правило, піддають попередній обробці (дробленню, подрібненню, грохоченню, видаленню шламів, випалу, що магнетизує та ін.).

Магнітне збагачення матеріалів з розміром частинок 3...50 мм проводять сухим способом, матеріалів дрібніше 3 мм – мокрим. Технологія магнітної сепарації залежить, насамперед, від складу матеріалу, що піддають обробці, і визначається типом використовуваних сепараторів. Останні зазвичай забезпечені багатополісними відкритими або закритими магнітними системами, що створюють різні типи магнітних полів. Вони відрізняються способами заправки (верхня або нижня подача матеріалу), переміщення продуктів збагачення (барабанні, валкові, дискові, стрічкові, роликові, шківні

сепаратори), характером руху оброблюваного потоку і евакуації магнітних компонентів (прямоточні, протиточні, полупротиточні) та іншими особливостями.

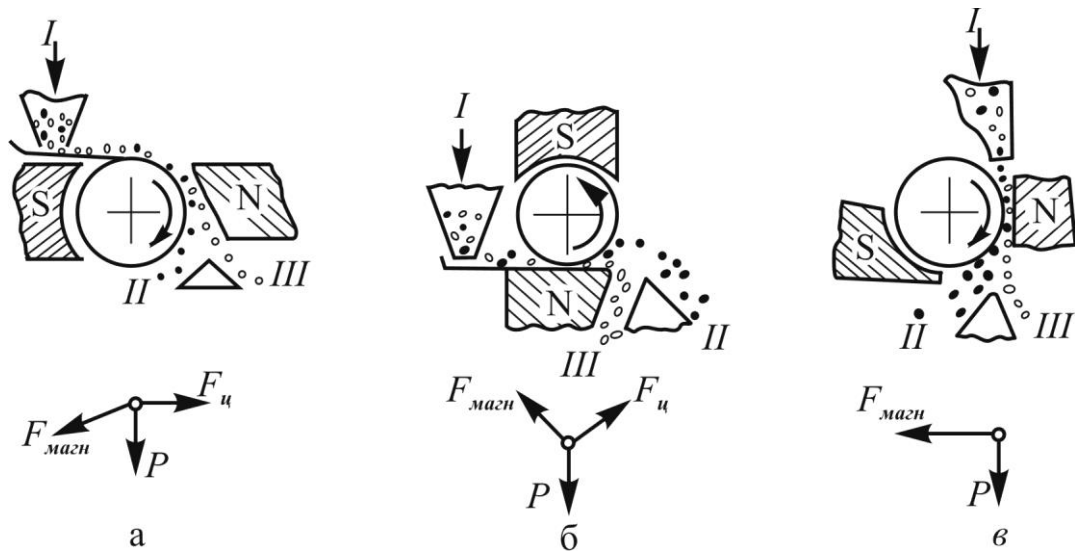


Рис. 3.1 – Принцип роботи магнітного сепаратора[19]:

а – верхня зона; б – нижня зона; в – вертикальна зона,  $I$  – вихідна сировина;  $II$  – магнітний продукт;  $III$  – немагнітний продукт

Евакуйовані з магнітного поля зерна феромагнетиків внаслідок залишкової намагніченості можуть формуватися в агрегати різного виду. З метою усунення наслідків цього явища, яке називається **магнітною флокуляцією**, використовують багаторазове перемагнічування таких матеріалів у змінному магнітному полі розмагнічуючих апаратів.

Електромагнітні сепаратори, призначені для витягнення залізних та інших феромагнітних предметів з розпушених немагнітних матеріалів, знайшли широке застосування в переробці твердих відходів.

Номенклатура електромагнітних сепараторів, використовуваних для розділення відходів, досить велика, і вони можуть бути класифіковані наступним чином: підвісні залізовідділювачі, електромагнітні шайби, електромагнітні шківни, електромагнітні барабани, електромагнітні сепаратори. Крім того, випускаються мобільні електромагнітні установки для відділення магнітних матеріалів у польових умовах або в умовах, де недоцільно використання стаціонарної установки.

Промисловість випускає магнітні сепаратори типів Е (електромагнітні) і П (з постійним магнітом). Класифікація магнітних сепараторів проводиться за напруженістю магнітного поля. Існують сепаратори для розподілу сухих зернистих або кускових матеріалів і сепаратори для розподілу матеріалів у водному середовищі.

Для видалення магнітних матеріалів з продуктів дроблення застосовують шківні електромагнітні сепаратори (залізовідділювачі) типу ШЕ (рис. 3.2), які встановлюються замість приводного барабана стрічкового конвеєра.

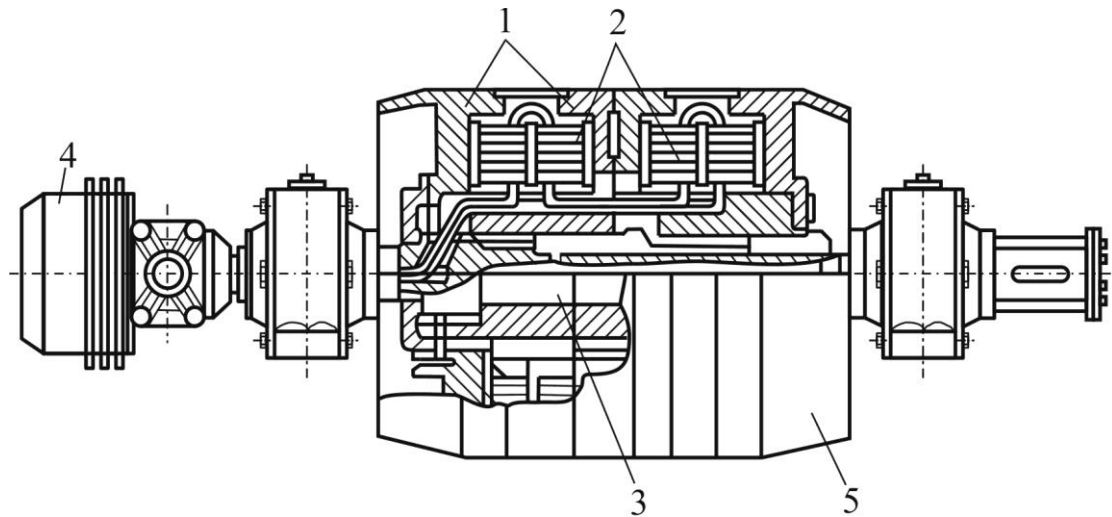


Рис. 3.2 – Електромагнітний шків ШЕ:

1 – диски-полюси; 2 – котушка; 3 – вал; 4 – струморозподільюча коробка; 5 – корпус шківа

Електромагнітний сепаратор складається з електромагнітної системи, що укріплена на валу, підшипників та коробки для зняття струму. Секції електромагнітної системи нерухомо закріплені на валу, який через редуктор обертається мотором. Ефективність роботи електромагнітного шківа залежить від маси, геометрії та магнітної сприйнятливості видобутих магнітних матеріалів, а також щільності матеріалу, що транспортується і швидкості руху стрічки конвеєра.

Принцип роботи електромагнітних шківів полягає в тому, що феромагнітні матеріали, які транспортуються стрічкою конвеєра, притягуються до неї в зоні установки шківа, а немагнітні скидаються з стрічки за ходом її руху. Звільнення стрічки від феромагнітних матеріалів відбувається в тому місці конвеєра, де відсутнє магнітне поле, тобто там, де припиняється її контакт з шківом. Швидкість руху стрічки повинна становити 1,25...2,0 м/с. При більш високій швидкості руху стрічки знижується повнота поділу магнітної і немагнітної фракцій.

Іншим різновидом сепараторів є залізовідділювачі підвісні саморозвантажувальні типу ПС, призначені для витягання і видалення феромагнітних предметів з сипучих немагнітних матеріалів, в тому числі з брухту і відходів кольорових металів.

Сепаратори типу ПС працюють в безперервному режимі і здійснюють механічне розвантаження конвеєра від магнітних матеріалів. У конструкцію сепаратора (рис. 3.3) входять опорний 1, ведучий 4 і натяжний 6 барабани, електромагніт 3, розвантажувальна стрічка 2 і привід 7. Всі елементи підвісного сепаратора змонтовано на рамі 5.

Принцип роботи сепараторів типу ПС полягає в притягуванні магнітних частинок до розвантажувальної стрічки, яка виносить їх у бік для розвантаження.

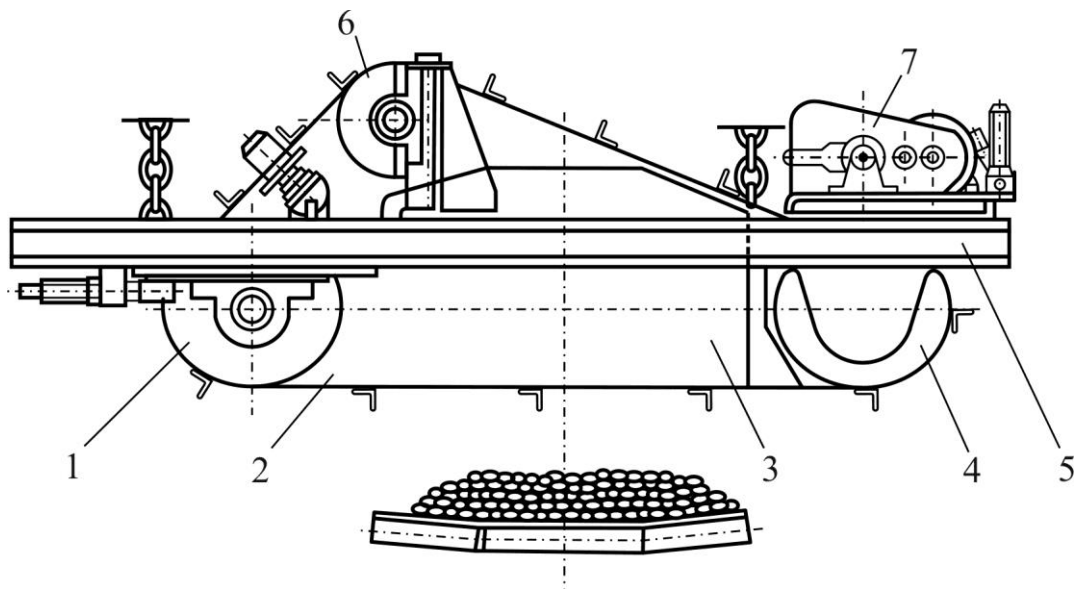


Рис. 3.3 – Підвісний електромагнітний сепаратор [19]

Підвісні залізовідділювачі встановлюються над стрічковими конвеєрами, якими транспортуються суміші магнітних і немагнітних подрібнених відходів.

Сепаратори типу ПС можна встановлювати в двох варіантах: над стрічкою транспортуючого конвеєра поперек його подовжньої осі і під кутом над барабаном транспортуючого конвеєра (рис. 3.4).

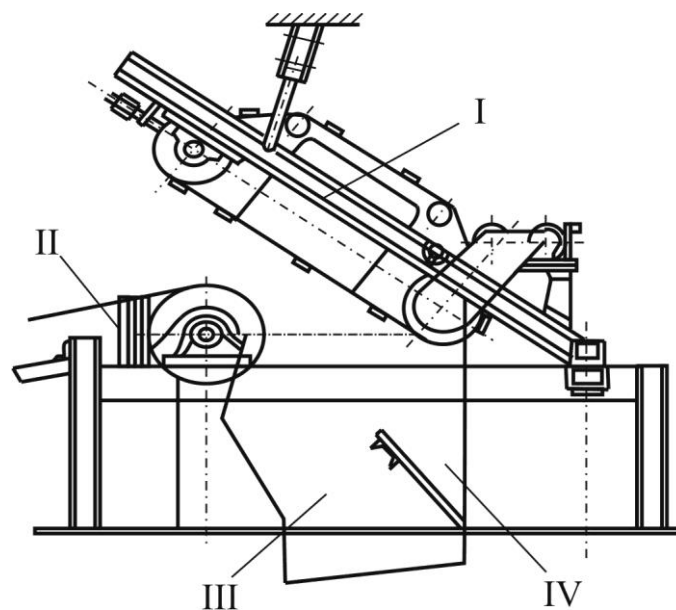


Рис. 3.4 – Схема установки залізовіддільнику (I) над барабаном конвеєра (II) в зоні його розвантаження: III – вихід кольорового металу; IV – вихід феромагнітного матеріалу [19]

Бажана установка сепаратора над барабаном у зоні розвантаження, так як матеріал там знаходиться в розпушеному стані.

Для підйому великих шматків магнітних матеріалів і транспортування їх для подальшого використання застосовують вантажно-підйомні електромагнітні шайби (рис. 3.5), які працюють, як правило, в періодичному режимі.

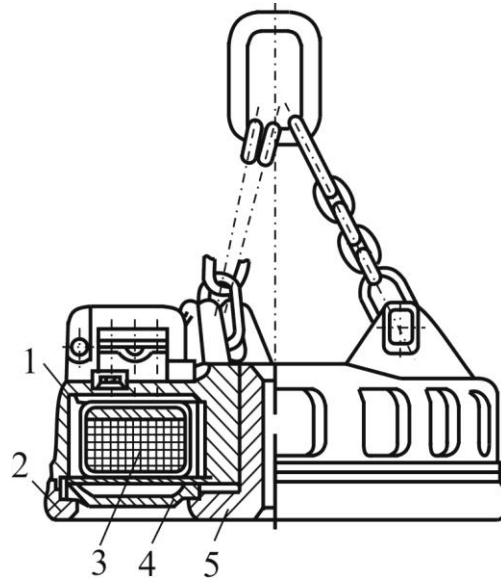


Рис. 3.5 – Електромагнітна шайба:

1 – корпус; 2 – зовнішній полюс; 3 – котушка; 4 – немагнітна шайба; 5 – внутрішній полюс

Для поділу на фракції потоку сипучих матеріалів більш доцільно використання електромагнітних барабанів (рис. 3.6).

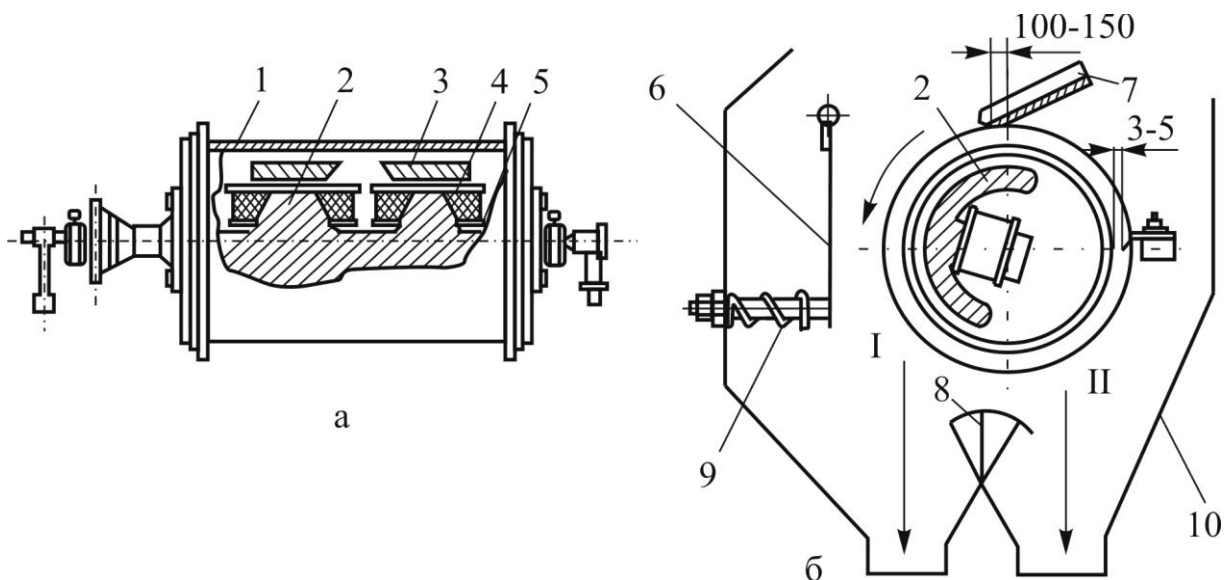


Рис. 3.6 – Електромагнітний барабан [19]:

а – барабан; б – установка барабана в приймальному бункері;

I – немагнітна фракція; II – магнітна фракція;

1 – корпус барабана; 2 – полюсна скоба; 3 – полюсні наконечники; 4 – котушки; 5 – кришка; 6 – відбійна плита; 7 – лоток; 8 – розподільник потоку; 9 – регулювальний гвинт; 10 – приймальний бункер

Сипкий продукт, що подається на барабан, розділяється на два потоки: магнітна фракція, притягнута до його поверхні, розвантажується в далекий за ходом обертання барабана приймальний пристрій, а немагнітна фракція сходить з барабана під дією сили тяжіння в ближню приймальну воронку.

Розподільник потоку 8 призначений для регулювання ступеня поділу дробленого матеріалу на фракції.

Для видалення заліза з сипучих матеріалів розроблені барабанні сепаратори, рис. 3.7.

Сепаратори цього типу встановлені в герметичному корпусі, що має штуцер для відсмоктування пилу.

Коллективна суміш сипучих матеріалів надходить в бункер 1 і за допомогою лоткового живильника 2, забезпеченого вібратором 3, рівномірним потоком подається на барабан 4, всередині якого розташована магнітна система 5. Немагнітна фракція зсипається з барабана в перший за ходом обертання відвід, а магнітна продовжує рух на поверхні барабана і зсипається в наступний за ходом обертання бункер. Установка змонтована на рамі 6.

**Електродинамічна сепарація.** Метод електродинамічної сепарації (ЕД) базується на силі взаємодії змінного електромагнітного поля з твердими електропровідними тілами, що мають різну електропровідність.

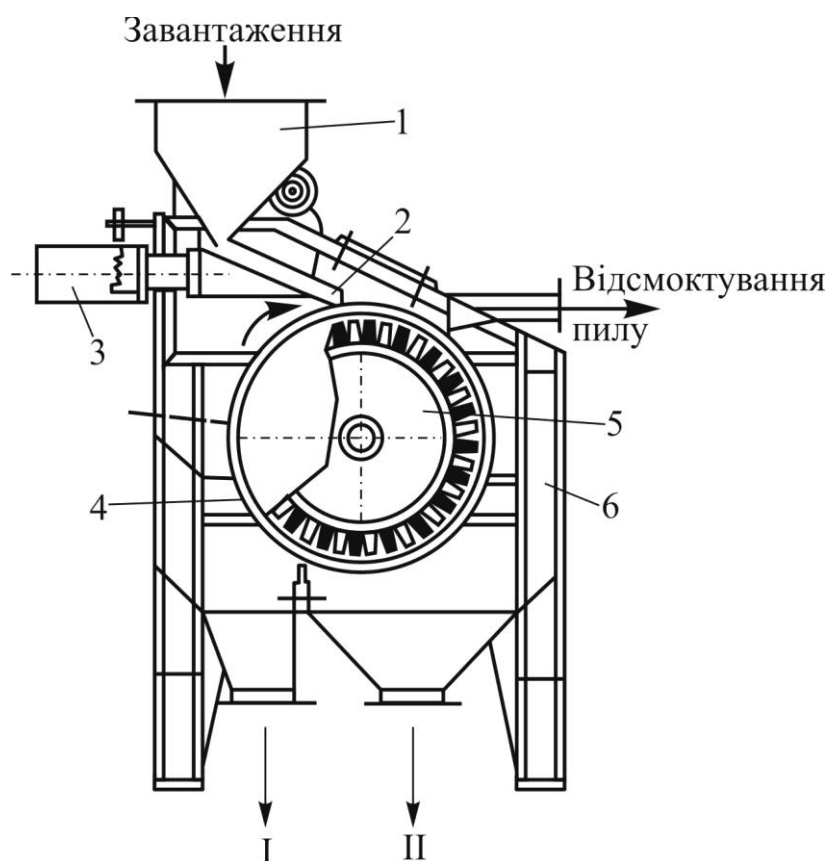


Рис. 3.7 – Електромагнітний барабанний сепаратор [19]:

1 – бункер; 2 – лотковий живильник; 3 – вібратор; 4 – барабан; 5 – електромагнітна система; 6 – рама;

I – магнітна фракція; II – немагнітна фракція



Залежно від умов взаємодії і характеру електромагнітного поля виділяють чотири класи ЕД сепараторів: з магнітним полем, яке обертається; з біжучим магнітним полем лінійного асинхронного двигуна; з неоднорідним змінним магнітним полем; пристрої, в яких сила взаємодії виникає при переміщенні електропровідних частинок щодо відповідного неоднорідного магнітного поля постійних магнітів.

Одним з видів ЕД сепараторів з обертовим магнітним полем є однороторні сепаратори, рис. 3.8.

Обертове магнітне поле сепаратора створюється багатополюсним ротором з незалежним приводом обертання. Магнітне поле ротора збуджується обмоткою, яка живиться постійним струмом.

Ротор знаходиться всередині барабану з нержавіючої сталі. Він застосовується для транспортування матеріалу, що розділяється, в зоні дії обертового магнітного поля. Частота обертання ротора  $17 \text{ с}^{-1}$ . Барабан обертається під впливом електродинамічних сил взаємодії з полем ротора. Частота його обертання підтримується на рівні  $0,11 \text{ с}^{-1}$  спеціальним демпфуючим пристроєм. Матеріал, який розподіляється рівномірно подається на барабан сепаратора, звідки електропровідні частинки відкидаються полем ротора в дальній приймальний бункер, а не електропровідні частки – вільно скидаються з барабана в ближчий бункер.

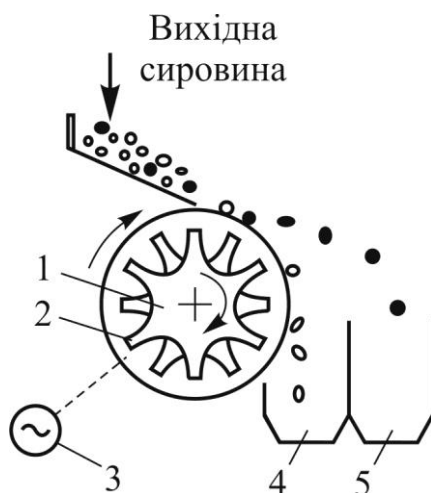


Рис. 3.8 – Електродинамічний однороторний сепаратор [19]:

1 – багатополюсний ротор; 2 – барабан; 3 – привід; 4 – приймач діамагнетиків; 5 – приймач феромагнетиків

Електродинамічний сепаратор стрічкового типу (рис. 3.9) представляє собою комплекс механізмів, що включає стрічковий транспортер, приводний барабан якого виконує функцію сепаратора. Обертове магнітне поле створюється обмоткою трьохфазного змінного струму, вміщеною в пази ротора.

**Електрична сепарація** застосовується для обробки сипучих матеріалів крупністю від 0,05 до 5 мм, переробка яких іншими методами малоефективна або неприпустима з екологічної точки зору.

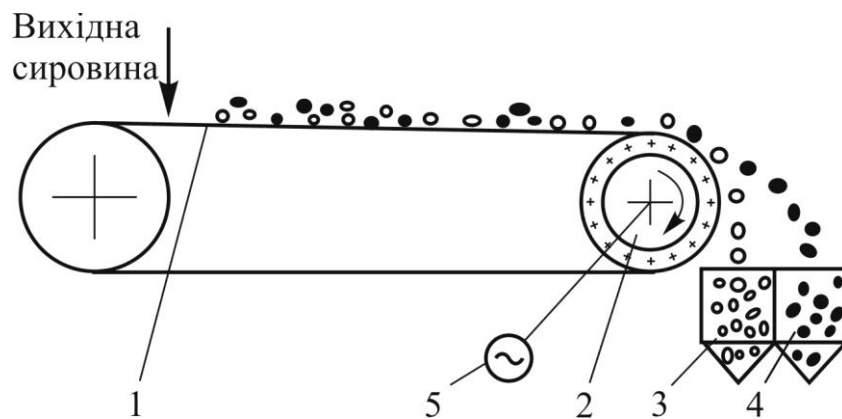


Рис. 3.9 – Електродинамічний сепаратор стрічкового типу [19]:

1 – стрічковий конвеєр; 2 – барабаний трьохфазний ротор; 3 – бункер неелектропровідного матеріалу; 4 – бункер електропровідного матеріалу; 5 – привід

При електричній сепарації подрібнених відходів використовуються відмінності в ефектах взаємодії заряджених частинок компонентів, що розділяються з електричним полем.

Розрізняють *електричну сепарацію в електростатичному полі, полі коронного розряду, трібоадгезійну сепарацію*. З їх допомогою вирішують завдання збагачення, класифікації та обезпилювання як рудної сировини і некондиційних продуктів в металургії чорних, кольорових та ін. металів, так і багатьох неметалічних матеріалів (тонкодисперсного кварцу, формувальних пісків, вапняку, піску для скляної промисловості та ін.).

*Електростатична сепарація* заснована на різниці електропровідності і здатності до електризації тертям (трібоелектричний ефект) мінеральних частинок суміші, яка розподіляється. При контакті частинок матеріалів з поверхнею зарядженого металевого електрода електропровідні частки отримують заряд і відштовхуються від нього. Величина заряду залежить від електропровідності часток.

При невеликій різниці в електропровідності часток використовують електризацію їх тертям (шляхом інтенсивного перемішування або транспортування по поверхні вібролотку). Наелектризовані частки направляють в електричне поле, де проходить їхня сепарація.

*Сепарація в полі коронного розряду*. Коронний розряд створюється між коронуючим (зарядженим до 20...50 кВ) і осаджувальним (заземленим) електродами. Сепарація заснована: на іонізації мінеральних частинок, які перетинають це поле осідаючими на них іонами повітря; на відмінності в інтенсивності передачі цими частками заряду на поверхню осаджувального електрода. Ці відмінності виражаються в траєкторіях руху частинок.

*Трібоадгезійна сепарація* заснована на різниці в адгезії до поверхні наелектризованих тертям частинок матеріалу, що розділяється. Температура процесу істотно впливає на силу адгезії, яка збільшується або зменшується електричними силами, викликаними трібоелектричними зарядами. Крім цього,

на частинки діють сили тяжіння і відцентрові сили, що в сукупності призводить до поділу частинок за речовинним складом і крупністю.

Електричні сепаратори класифікують за характером електричного поля (електростатичні і з коронним розрядом), способом електризації (контактним способом, в полі коронного розряду, трибоелектризацією та ін.) та за конструкцією робочих органів (барабанні, камерні, поточні, лоткові, пластинчасті, поличні та ін.)

На рис. 3.10 показана принципова схема барабанного електричного сепаратора для поділу суміші матеріалів за електропровідністю.

Вихідний матеріал з бункера 1 тонким однорідним шаром подається на заряджений барабан 2. В результаті зарядження часток однойменним зарядом при контакті з барабаном вони відштовхуються від нього і, рухаючись по криволінійних траєкторіях, потрапляють в приймач для електропровідних фракцій 7. Неелектропровідні частки, заряджаючись повільніше, падають без відхилення або частково утримуються на барабані і попадають в приймач 4 в результаті очищення поверхні барабана щіткою 3. Суміш часток матеріалів різної електропровідності концентрується в середньому приймальнику 5. Регулювання якісного складу фракцій здійснюється поворотом ділильної перегородки 6.

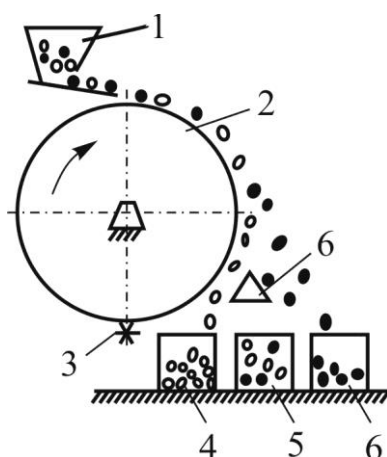


Рис. 3.10 – Барабанний електричний сепаратор [19]

**Флотація** – один з найбільш поширених способів збагачення. Флотація заснована на різній змочуваності поверхні частинок відходів водою. Тонкоподрібнені відходи обробляють водою, в яку додають флотаційні реагенти, що підсилюють розходження в змочуваності частинок відходів. В якості реагентів застосовують масла, жирні кислоти та їх солі, меркаптани, аміни та ін.

Ефективність поділу флотацією залежить від насиченості води бульбашками повітря, що прилипають до частинок тих матеріалів, які погано змочуються. Ці частинки стають більш легкими, відокремлюються від таких, що добре змочуються і виносяться на поверхню. Залежно від характеру

насиченості води повітрям розрізняють: напірну, барботажну (пінну), електричну, біологічну та хімічну флотації.

## **3.2 ПЕРЕРОБКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ЗА ГАЛУЗЯМИ ПРОМИСЛОВОСТІ**

### **3.2.1 Утилізація відходів фосфатної промисловості**

Фосфатна промисловість пов'язана з виробництвом фосфору, фосфатної кислоти та фосфатних добрив [3, 16–21].

Фосфор відноситься до вельми розповсюджених елементів. Він складає близько 0,04 % від загальної кількості атомів земної кори. Він має виключне значення для життя, оскільки входить в склад деяких білкових речовин (наприклад, в склад нервової та мозкової тканин), а також кісток та зубів.

Фосфор зустрічається у вигляді мінералу апатиту:  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ , – фтор-apatиту, іноді  $\text{Ca}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$  – хлор-apatиту та відкладень фосфоритів, які в основному складаються з  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Крім основних мінералів, такі руди містять в своєму складі мінерали-домішки, в слідових кількостях уран, торій, ванадій. Фосфорні руди є осадовими породами, що скріплюються кальцієм фосфатами.

Відходи цих виробництв є одними з самих багатотоннажних відходів хімічного промислового комплексу. Найбільша питома вага в фосфорній промисловості приходить на виробництво одного з фосфорних добрив – суперфосфату.

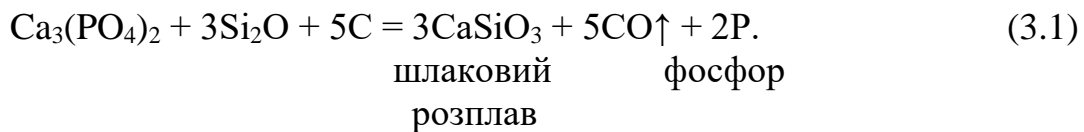
**Відходи видобування.** При видобуванні фосфорних руд значні маси покривних порід, які складаються з піску, глини, сланців з домішками сірки та фосфору, потрапляють у відвали та практично не використовуються. Їх можна використовувати для виробництва пористих заповнювачів (аглопориту) та як добавку до сировини при виробництві керамічних виробів.

**Відходи збагачення.** Апатитові руди відносяться до легко розчинних порід, фосфоритові – до важко розчинних, та потребують використання більшої кількості реагентів. При збагаченні фосфорних руд утворюється значна кількість твердих відходів у вигляді відходів флотації, маса яких може досягати 70...75 % від маси початкової руди. У відходах залишається значна кількість фосфатів. Для зменшення кількості відходів доцільно такі руди переробляти з використанням селективного вилуговування сировини розчинними кислотами або відходами, які мають кислу реакцію. Відходи флотації можуть використовуватися як домішки до сировини при виробництві керамічних будівельних матеріалів.

З метою екологічної безпеки необхідно контролювати вміст у відходах радіонуклідів.

**Виробництво фосфору.** Термічну переробку фосфорного концентрату здійснюють в електропечах при температурі 1300... 1500 °С за допомогою

коксу з введенням в шихту кремнезему в якості флюсу. Процес протікає за сумарним рівнянням:



В результаті утворюється фосфор та шлаковий розплав.

Пари фосфору, що утворюються, відводять в конденсатори, які зрошують водою. Потім їх збирають у прийомному бункері з водою, під шаром якої накопичується розплавлений фосфор. Отриманий шлак, зливають з печей в рідкому стані та піддають грануляції. На 1 т фосфору утворюється 10...12 т шлаку.

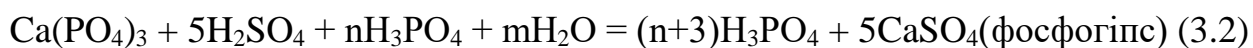
Хімічний склад фосфорних шлаків близький до складу доменних шлаків. Сумарний вміст у них кальцію оксиду та кремнезему досягає 95 % при їх відношенні 0,9...1,1. Однак, із-за наявності у фосфорних шлаках  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaF}_2$  (до 3 % кожного) та зниженої кількості  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , до 4 %, – вони мають низьку гідравлічну активність у порівнянні з доменними. Гранульований шлак має пористу структуру, справжня щільність його складає  $2800 \text{ кг/м}^3$ , за фракційним складом він відповідає дрібно- або середньозернистим піскам.

Гранульовані фосфорні шлаки використовуються в цементній промисловості як добавки до сировини (до 8...10 %) замість глинистого компонента. Фосфорні шлаки використовуються як добавки при подрібненні цементного клінкеру у виробництві портланд-цементу та шлакового портланд-цементу. Кристалізація фосфорно-шлакового цементу займає більше часу та міцність його у ранні строки нижча. Але, через 3...5 місяців міцність стає більшою, ніж у цементу на основі доменних шлаків.

З фосфорно-шлакових розплавів отримують литий щебінь. З них також можна отримати шлакову пемзу, вату, плитку для підлоги, тротуарну плитку та ін.

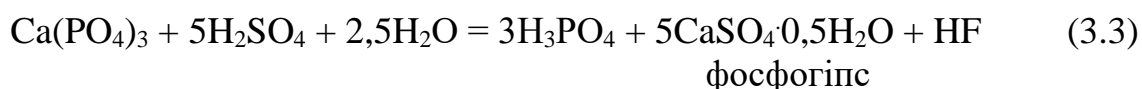
**Утилізація відходів виробництва фосфатної кислоти.** Фосфатна кислота є напівпродуктом у виробництві подвійного суперфосфату та других товарних продуктів на основі сполук фосфору. Екстракційний метод виробництва фосфатної кислоти полягає в видаленні  $\text{H}_3\text{PO}_4$  з натуральних фосфатів за допомогою кислот. Основний метод отримання  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – сульфатнокислотний. Цей метод полягає в обробці натурального подрібненого фосфату сульфатною кислотою з отриманням фосфатної кислоти  $\text{H}_3\text{PO}_4$  та фосфогіпсу, який містить фосфати, що не піддалися розкладанню.

При змішуванні сульфатної кислоти та фосфату утворюється пульпа, в якій співвідношення Р:Т підтримується в межах від 2:1...3:1. Для цього  $\text{H}_2\text{SO}_4$  розбавляють розчином, який отримується змішуванням частки отриманої фосфатної кислоти з водою від промивки фосфогіпсу. Таким чином, екстракція проводиться сумішшю  $\text{H}_2\text{SO}_4$  та  $\text{H}_3\text{PO}_4$  та може бути представлена сумарною реакцією:



В залежності від умов отримання  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , відходи представляють собою сульфат кальцію двогідрат –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , напівгідрат –  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  або безводний кальцію сульфат –  $\text{CaSO}_4$ .

Фосфатна кислота – сировина для виробництва подвійного суперфосфату –  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Фосфогіпс отримується на першій стадії виробництва простого суперфосфату:



Фосфогіпс – сірий дрібний кристалічний порошок з вологістю 25...40 %. Він містить фосфати, сполуки фтору, стронцію, фосфатну кислоту, органічні речовини, які не вступили в реакцію, з'єднання рідкоземельних елементів та урану.

Порівняння складу фосфогіпсу з натуральною гіпсовою сировиною показало, що фосфогіпс – потенційно якісна сировина для виробництва різноманітних в'язучих матеріалів на його основі. Однак при його застосуванні потрібне додаткове очищення від домішок. Обсяги фосфогіпсу, що утворюються, перевищують потреби в гіпсовій сировині, яку спеціально добувають.

Розроблені технології отримання гіпсових в'язучих матеріалів з фосфогіпсу. Для зниження вмісту домішок та їхньої нейтралізації його промивають, потім сушать, піддають обпалюванню та подрібнюють. За такою технологією отримують високоміцний гіпс, який відповідає вимогам стандарту. Фосфогіпсові в'язучі матеріали можуть бути використані як добавки до цементів для регулювання строків кристалізації. З них можна виробляти плити для перегородок, блоки, гіпсо-піскову цеглу, декоративні акустичні плити. Також на основі фосфогіпсових в'язучих матеріалів можливе отримання декоративного матеріалу – декоративного мармуру. Фосфогіпс може бути сировиною для виробництва цементу з одночасним отриманням  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Однак, незважаючи на велику кількість шляхів використання цього ВМР, основну масу фосфогіпсу, який отримується, скидають у відвали, де вже накопичено мільйони тон цього відходу.

**Приклад.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва суперфосфату з апатитового концентрату, який містить 39,4 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , якщо:

Витрата сульфатної кислоти, кг/1 кг концентрату	0,68
Концентрація $\text{H}_2\text{SO}_4$ , %	
вихідної	92,5
розбавленої	68,0
Вміст у камерному суперфосфаті $\text{P}_2\text{O}_5$ загального, %	20,8

Вміст у суперфосфаті після складського дооброблення, %	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> загального	21,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> засвоюваного	19,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> вільного	5,5
вологи	10,5

Розрахунок балансу ведемо на 1000 кг апатитового концентрату.  
Витрату 92,5 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> визначаємо за формулою:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{в})} = \frac{N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot G_{\text{ап.к}}}{g_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{в})}}, \quad (3.5)$$

де  $N_{\text{H}_2\text{SO}_4}$  – норма H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

$G_{\text{ап.к}}$  – маса апатитового концентрату, кг;

$g_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{в})}$  – концентрація H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> вихідної.

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{в})} = \frac{0,68 \cdot 1000}{0,925} = 735 \text{ кг.}$$

Витрату 68 % сульфатної кислоти визначаємо за формулою:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{р})} = \frac{g_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{в})} \cdot G_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{в})}}{g_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{р})}}; \quad (3.6)$$

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{р})} = \frac{0,925 \cdot 735}{0,68} = 1000 \text{ кг.}$$

Витрату води на розбавлення 92,5 % сульфатної кислоти визначаємо за формулою:

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = G_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{р})} - G_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{в})}; \quad (3.7)$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 - 736 = 265 \text{ кг;}$$

Загальну кількість матеріалів, що введено на розкладання фосфату розраховуємо за формулою:

$$G_{\text{вх}} = G_{\text{ап.к}} + G_{\text{H}_2\text{SO}_4(\text{в})} + G_{\text{H}_2\text{O}}; \quad (3.8)$$

$$G_{\text{вх}} = 1000 + 735 + 265 = 2000 \text{ кг.}$$

Вихід свіжого суперфосфату, який вивантажується з камери визначаємо за формулою:

$$G_{\text{к.с}} = \frac{g_{\text{P}_2\text{O}_5(\text{ап.к})}}{g_{\text{P}_2\text{O}_5(\text{к.с})}} \cdot G_{\text{ап.к}}, \quad (3.9)$$

де  $g_{\text{P}_2\text{O}_5(\text{ап.к})}$  – вміст P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у апатитовому концентраті;

$g_{\text{P}_2\text{O}_5(\text{к.с})}$  – вміст у камерному суперфосфаті P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> загального.

$$G_{\text{к.с}} = \frac{0,394}{0,208} \cdot 1000 = 1894 \text{ кг.}$$

Кількість газів і водяної пари, які видаляються в процесі розкладання фосфату у змішувачі і камері, визначаються за різницею між загальною

кількістю введених матеріалів й кількістю отриманого камерного суперфосфату за формулою:

$$G'_Г = G_{\text{вх}} - G_{\text{к.с}}; \quad (3.10)$$

$$G'_Г = 2000 - 1894 = 106 \text{ кг.}$$

Вихід суперфосфату після складського дооброблення розраховуємо за формулою:

$$G_{\text{суп}} = \frac{g_{\text{P}_2\text{O}_5(\text{ап.к})}}{g_{\text{P}_2\text{O}_5(\text{зар})}} \cdot G_{\text{ап.к}}, \quad (3.11)$$

де  $g_{\text{P}_2\text{O}_5(\text{зар})}$  – вміст у суперфосфаті  $\text{P}_2\text{O}_5$  загального після складського дооброблення.

$$G_{\text{суп}} = \frac{0,394}{0,21} \cdot 1000 = 1876 \text{ кг.}$$

Кількість газів і водяної пари, які видаляються з суперфосфату під час його дооброблення на складі, визначаємо за різницею між кількістю камерного і товарного суперфосфату за формулою:

$$G''_Г = G_{\text{к.с}} - G_{\text{суп}}; \quad (3.12)$$

$$G''_Г = 1894 - 1876 = 18 \text{ кг.}$$

Результати розрахунку матеріального балансу заносимо до табл. 3.1

Таблиця 3.1

Матеріальний баланс виробництва простого суперфосфату з апатитового концентрату

Приход	маса		Витрата	маса	
	кг	%		кг	%
1. Апатитовий концентрат	1000	50,0	1. Гази та пара, що видалилися у змішувачі та камері	106	5,3
2. Сульфатна кислота (92,5 %)	735	36,8	2. Гази та пара, що видалилися під час дооброблення	18	0,9
3. Вода для розбавлення $\text{H}_2\text{SO}_4$	265	13,2	3. Товарний суперфосфат	1876	93,8
Всього	2000	100	Всього	2000	100

**Завдання 3.1.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва суперфосфату з апатитового концентрату, який містить 44 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  та скласти таблицю матеріального балансу. Інші необхідні дані взяти з розглянутого прикладу.



### 3.2.2 Утилізація відходів виробництва калійних добрив

Калій належить до числа елементів, необхідних для живлення рослин. Він відкладається головним образом в стеблах таких рослин як льон, конопля, тютюн. Завдяки цьому недостатню кількість калію поповнюють внесенням в ґрунт калієвих добрив в основному у вигляді сільвіну –  $\text{KCl}\cdot\text{NaCl}$ .

Джерелом отримання калієвих добрив є натуральні відкладення калієвих солей у вигляді карналіту –  $\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  та сільвіну –  $\text{KCl}\cdot\text{NaCl}$  [3, 16–21].

Калійні руди збагачують різними методами. Найбільш розповсюдженими є методи: розподільної кристалізації із розчинів та метод збагачення породи флотацією.

При переробці та збагаченні сировини в калійній промисловості утворюються багатотоннажні тверді галітові відходи та глинисто–сольові шлами, які потрапляють у відвали та скидають у шламонакопичувачі, відповідно. На 1 т  $\text{KCl}$  утворюється 3...4 т галітових відходів та 0,6 м<sup>3</sup> глинисто–сольових шламів, які містять 0,32 т твердої фази.

Крім основного компоненту  $\text{NaCl}$  (до 90 %), вони містять  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ , броміди та нерозчинні речовини. Поблизу калійних виробництв накопичено відвали солі, які під впливом атмосферних опадів розчиняються та потрапляють у поверхневі та ґрунтові води. Вони спричиняють знесолення ґрунтів, збільшення мінералізації поверхневих та підземних вод.

З метою поліпшення екологічної обстановки слід відмовитися від засобів збереження сольових відходів на поверхні та переходити на засоби їхнього складування у відпрацьованих шахтах, а також удосконалювати технологію гірничих робіт шляхом скорочення видобутку з шахт галіту та "порожньої породи" (селективне добування калійних руд).

Галітові відходи можна використовувати для отримання кухонної солі, як сировину в содовому, хлорному виробництвах. Перспективним напрямом є також застосування методів комплексного використання сировини: шляхом вилуговування побічних компонентів – магнію, броміду, використання відходів для отримання кормової і технічної солі та ін. продуктів.

### 3.2.3 Утилізація відходів виробництва соди

Натрію карбонат  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (сода), є одним з головних продуктів хімічної промисловості [3, 16–21]. В значних кількостях сода використовується у скляній, целюлозно–паперовій, текстильній, нафтовій та інших областях промисловості, є сировиною для отримання різних солей.

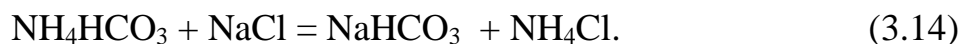
З XVII ст. використовували викопну соду натуральних родовищ.

У 60-ті рр. XIX ст. Сольвей запропонував новий "аміачний спосіб" отримання соди з натрію хлориду. Цей спосіб оснований на утворенні натрію гідрокарбонату за реакцією  $\text{NaCl}$  з  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  в водному розчині.

У промисловості приведена реакція здійснюється таким чином. Концентрований розчин натрію хлориду насичують при охолодженні аміаком, а потім пропускають через нього під тиском  $\text{CO}_2$ , який отримують випаленням вапняку. При взаємодії аміаку,  $\text{CO}_2$  та води утворюється амонію гідрокарбонат:

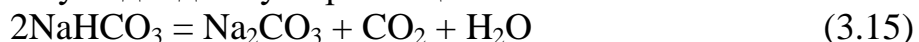


В обмінній реакції з натрію хлоридом утворюється амонію хлорид і натрію гідрокарбонат:

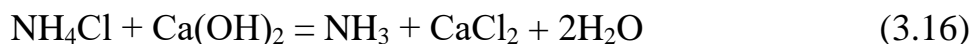


Натрію гідрокарбонат мало розчинний в холодній воді і випадає в осад, який відокремлюють фільтруванням.

При прокалюванні натрію гідрокарбонат розкладається на натрію карбонат, воду і  $\text{CO}_2$  і знову надходить у виробництво:



Підігрів розчину, що містить амонію хлорид з вапном знову сприяє виділенню аміаку:



Таким чином, при аміачному способі отримання соди єдиним відходом виробництва є кальцію хлорид, який залишається в розчині після виділення аміаку. Розчин кальцію хлориду (50...65 %) містить залишки речовин, які не реагували, –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 4...10 % за масою,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , а також домішки глинистих матеріалів і кварцу, 5...10 % за масою та ін. Такий розчин називається дістілерним шламом. Дістілерний шлам – це крейдоподібний матеріал, який на 70...80 % складається з частинок розміром 0,1...0,2 мм. На 1 т соди утворюється 8...12 т дістілерної рідини, яка містить у своєму складі 200...250 кг/м<sup>3</sup> твердого залишку.

Складування таких відходів здійснюють у спеціальних накопичувачах шламу – "білих морях". На підприємствах содової промисловості накопичилися мільйони тонн дістілерних шламів. Склад дістілерних шламів залежить від родовища. Твердий залишок завжди містить оксиди, які є частинками сполук силікатних систем, що мають в'язучі властивості. Одним з основних напрямків їх використання є отримання вапняно-білітового в'язучого матеріалу та силікатної цегли на його основі.

Технологічна схема отримання вапняно-білітового в'язучого матеріалу така: шлам розробляють, направляють на сушку, обпалюють у обертовій печі і тонко подрібнюють спільно з піском в певному співвідношенні. Після цього його використовують для виробництва цегли за звичайною технологією.

Шляхом прожарювання і тонкого помолу дістілерного шламу випускають вапномісні в'язучі матеріали для виробництва будівельних розчинів, автоклавних бетонів, керамзитобетонів.

Дістілерні шлами рекомендують також використовувати для виробництва асфальтобетонних сумішей.

В загальному вигляді основні реакції аміачно-содового процесу наведено на рис. 3.11.

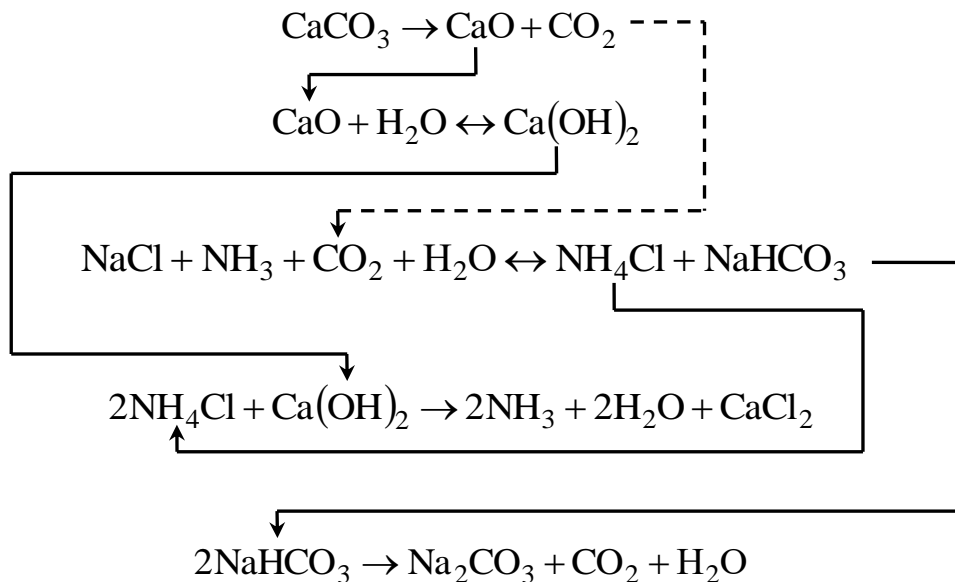
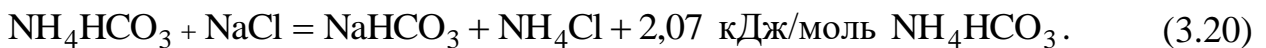
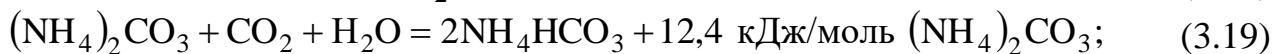
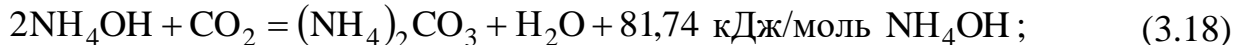
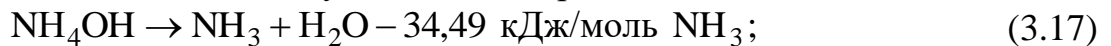


Рис. 3.11 – Хімічна схема аміачно-содового процесу

**Завдання 3.2.** До стадії карбонізації у виробництві соди (рис. 3.12) подали: 1200 кг  $\text{CaCO}_3$ , 1000 кг  $\text{H}_2\text{O}$ , 1000 кг  $\text{NaCl}$  та 300 л  $\text{NH}_3$ .

В основу технологічних розрахунків покладено спрощений механізм процесу карбонізації, який описується такими реакціями:



Розрахувати матеріальний баланс стадії карбонізації та представити отримані дані у вигляді табл. 3.2

Таблиця 3.2

Матеріальний баланс стадії карбонізації у виробництві соди

Надходження	маса, кг	Витрата	маса, кг

**Завдання 3.3.** В процесі створення маловідходного комплексу виробництва соди передбачається впровадження високоефективної технології переробки освітленої дістільерної рідини, що може перероблятися з одержанням кальцію хлориду. В основу технологічних розрахунків можна покласти хімічні перетворення наведені на рис. 3.11.

Розрахувати масу  $\text{CaCl}_2$ , яка утворюється, якщо відомо, що в процес подали: 100 кг  $\text{CaCO}_3$ , 90 кг  $\text{H}_2\text{O}$ , 100 кг  $\text{NaCl}$  та 30 л  $\text{NH}_3$ .

**Завдання 3.4.** За наведеними на рис. 3.11 ланцюжками хімічних перетворень розрахувати масу  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , яка утворюється. Відомо, що в процес подали: 130 кг  $\text{CaCO}_3$ , 100 кг  $\text{H}_2\text{O}$ , 125 кг  $\text{NaCl}$  та 50 л  $\text{NH}_3$ .

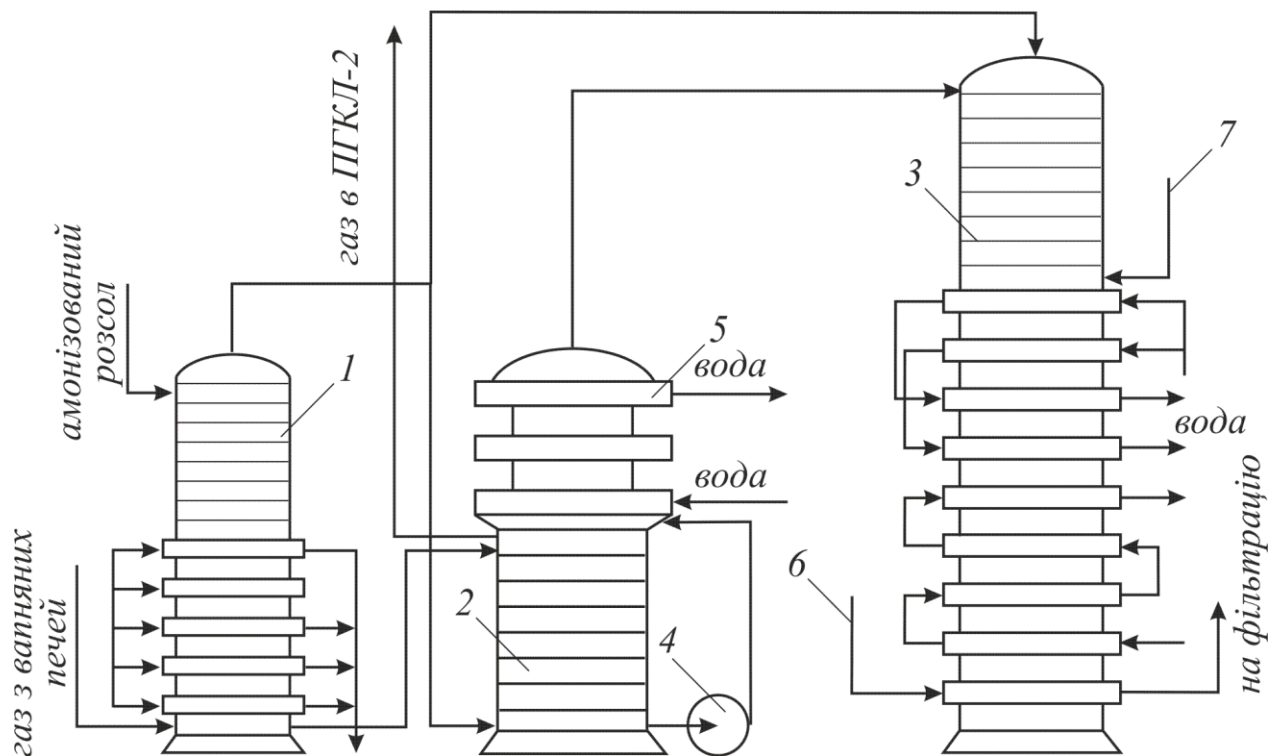


Рис. 3.12 – Технологічна схема відділення карбонізації:

1 – колона попередньої карбонізації КЛПК; 2 – перший промивач газу колони ПГКЛ-1; 3 – осаджувальна карбонізаційна колона; 4 – насос; 5 – холодильник; 6 – трубопровід для подання змішаного газу; 7 – трубопровід для подання газу вапняних печей

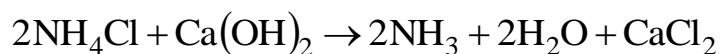
### 3.2.4 Утилізація відходів виробництва ацетилену

Ацетилен – безбарвний газ, який отримують дією води на кальцію карбід:



Відходом є карбідне вапно у вигляді вапняного тіста. Вапняне тісто містить домішки кальцію карбіду, який не розклався, фосфін  $\text{PH}_3$  і розчинений ацетилен. Застосовувати його можна після витримування протягом 1–2 місяців. За цей час проходить повне вивітрювання газів і зникнення запаху фосфіну. Активність вапна залежить від перебування у відвалі і відповідає вапну третього сорту. Його рекомендують використовувати як сполучний матеріал для автоклавних матеріалів.

**Завдання 3.5.** У апарат ацетиленового зварювання завантажили 100 кг  $\text{CaC}_2$ . Розрахувати обсяг  $\text{NH}_3$ , який можна отримати з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , що утворився, якщо обробити його  $\text{NH}_4\text{Cl}$  за реакцією:



### 3.2.5 Утилізація відходів виробництва сульфатної кислоти

Піритові недогарки – відходи, що утворюються при переробці залізного колчедану ( $\text{FeS}_2$ ) в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [3, 16–21]. Чистий залізний колчедан містить 53,5 % сірки і 46,5 % заліза. У природному колчедані, крім сірки і заліза, можуть утримуватися домішки піску, глини, карбонатів і сульфідів кольорових металів, сполук миш'яку, селену, срібла, золота та ін. При випалюванні збагаченого піритного концентрату отримують  $\text{SO}_2$ , який надалі перероблюють в  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , а твердим відходом є піритові недогарки:



Піритові недогарки складаються з:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (56...71 %),  $\text{SiO}_2$  (9...22 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1...18 %),  $\text{CaO}$  (0,8...5 %),  $\text{MgO}$  (0,1...0,2 %). Крім того, вони містять у своєму складі мідь, цинк, свинець, сірку, дорогоцінні метали, миш'як, селен. При випалюванні піритового концентрату виходить близько 70 % огарків від маси колчедану. Розчинні сполуки миш'яку, що входять до складу піритових недогарків легко вимиваються атмосферними опадами і забруднюють ґрунти, поверхневі і підземні води.

Доцільним напрямком утилізації піритових недогарків є витяжка кольорових і дорогоцінних металів. Методом випалу у середовищі хлору з недогарків витягуються мідь, благородні метали.

Піритові недогарки є цінною сировиною для чорної металургії. Основною перешкодою для їх використання в доменних плавленнях є високий ступінь подрібнення, яке може викликати забивання доменної печі. Вміст у деяких видах недогарків свинцю, міді, цинку, срібла, ускладнює процес доменного плавлення і забруднює його продукти. Підвищений вміст сірки приводить до отримання чавуну низької якості.

У невеликих кількостях піритові недогарки використовують як сировину для доменного плавлення без попередньої витяжки кольорових і дорогоцінних металів. До плавлення проводиться високотемпературна агломерація, яка призводить до вигорання сірки та утворення шматків матеріалу.

Піритові недогарки використовуються як добавки і як основна сировина для виробництва керамзиту. Розроблено технологію отримання важких заповнювачів з піритових недогарків (95...97 %) та глини (3...5 %).

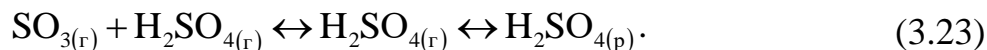
Для зниження температури прожарювання, підвищення якості та поліпшення характеристик кольору у виробництві стінних керамічних матеріалів, також використовують піритові недогарки. Проте, газоподібні продукти, які виходять при випалюванні сульфідів і сульфатів, знижують механічну міцність виробу.

Піритові недогарки застосовують для отримання червоного залізо-оксидного пігменту шляхом тонкого подрібнення і прожарювання при температурі 700 – 800 °С. Цей пігмент стійкий до дії кислот, лугів, вапна.

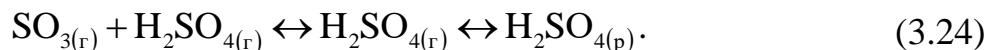
**Завдання 3.6.** На рис. 3.13 наведено схему абсорбційного відділення контактного заводу з виробництва  $H_2SO_4$ . Розрахувати маси  $H_2SO_4$ , які утворюються при різних способах абсорбції напівпродукту з 100 кг  $SO_3$  та провести оцінку ступеня перетворення  $SO_3$  у  $H_2SO_4$ :

а) зрошення  $H_2SO_4$ , 50 % мас.:

а) зрошення  $H_2SO_4$ , 50 % мас.:



б) зрошення  $H_2SO_4$ , 20 % мас.:



в) зрошення  $H_2O$ :

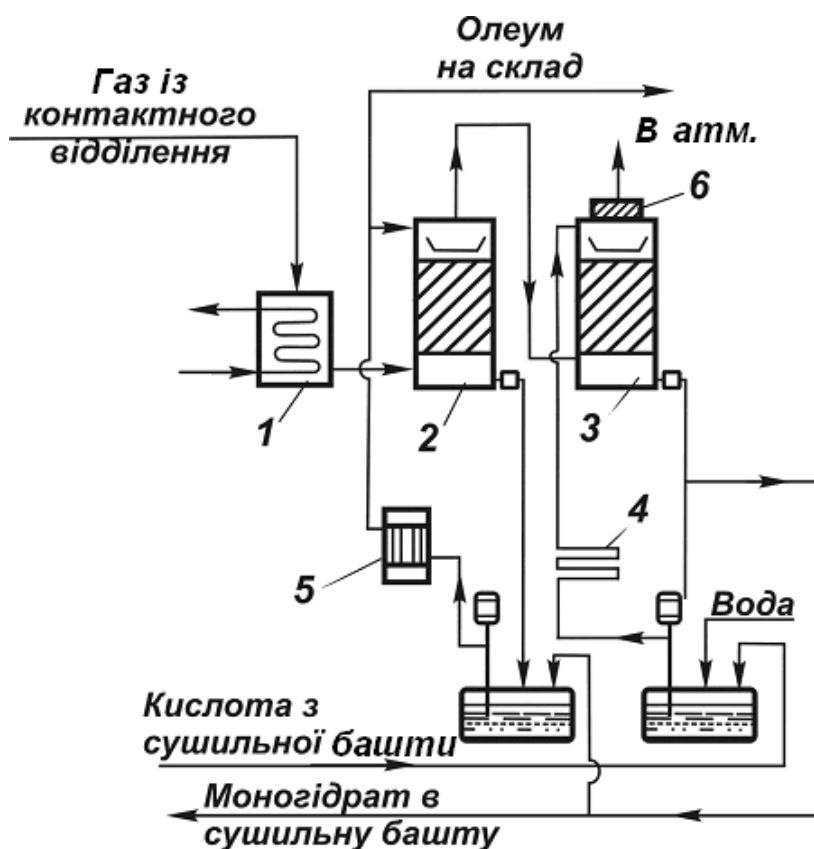
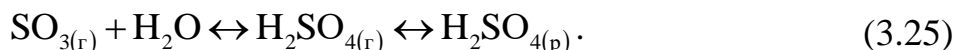
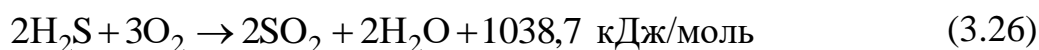


Рис. 3.13 – Схема абсорбційного відділення контактного заводу:

1 – ангідридний холодильник; 2 – олеумний абсорбер; 3 – моногідратний абсорбер; 4 – зрошувальний холодильник; 5 – трубчастий холодильник; 6 – фільтр

**Завдання 3.7.** Схема виробництва сульфатної кислоти з концентрованого сірководневого газу наведена на рис. 3.14.

В основу технологічних розрахунків покладено механізм процесу, який описується такими реакціями:



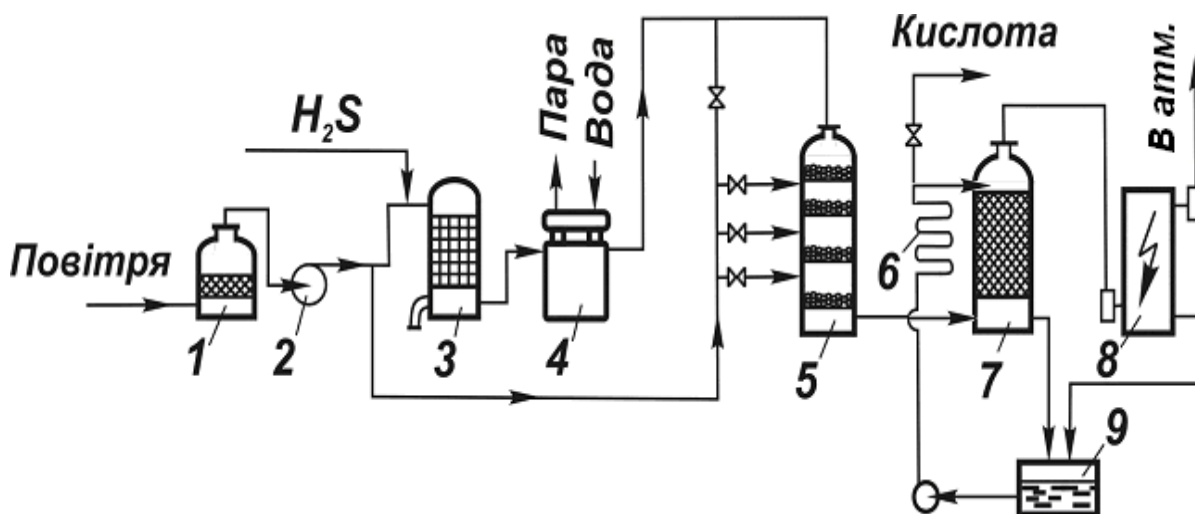


Рис. 3.14 – Схема виробництва сульфатної кислоти методом мокрого каталізу:

1 – фільтр; 2 – вентилятор; 3 – піч; 4 – паровий котел-утилізатор; 5 – контактний апарат; 6 – холодильник; 7 – башта-конденсатор; 8 – електрофільтр; 9 – циркуляційний збірник; 10 – насос

Розрахувати масу  $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{p})}$ , яка утворюється за наведеними вище реакціями з 120 кг  $\text{H}_2\text{S}$ .

### 3.2.6 Утилізація відходів коксохімічного виробництва

Кокс отримують піролізом вугілля. Склад і властивості палива визначають режим його переробки [3, 16–21]. Тверде паливо містить горючу органічну масу і негорючу мінеральну частину – баласт. Органічна маса складається з С,  $\text{H}_2$  і  $\text{O}_2$ , крім того в ній можуть міститися N, S та ін. Негорюча частина палива складається з вологи і мінеральних речовин: заліза, кальцію, магнію, алюмінію, калію, натрію карбонатів, силікатів, фосфатів, сульфатів, сульфідів і т.д.

При спалюванні чи газифікації палива мінеральні речовини залишаються у вигляді золи, при цьому деякі з них піддаються розкладанню з утворенням оксидів. При піролізі зола знаходиться в твердому залишку палива.

Кокс – тверде паливо підвищеної міцності, яке отримують нагріванням вугілля до 900...1050 °С в анаеробних умовах. При поступовому нагріванні з компонентами вугілля відчуюються глибокі фізико-хімічні перетворення: до 250 °С відбувається випаровування вологи, виділення  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ .

При температурі 300 °С починається виділення пару, смоли і утворення пірогенетичної води. При температурі понад 350 °С вугілля переходить у пластичний стан. При 500 – 550 °С починається розкладання пластичної маси з виділенням первинних продуктів (газу та смол) та затвердіння її з утворенням напівкоксу, вище 700 °С відбувається зміцнення коксу.

Кокс – це твердий матово-чорний пористий продукт. В основному, кокс використовується у чорній металургії. На 1 т коксу виходить від 300 до 500 кг твердих і газоподібних відходів у вигляді кам'яновугільної смоли, бензолу, коксового газу, смольної води.

Після видалення з коксового газу смоли, сирого бензолу, води та аміаку, – отримують зворотний коксовий газ, який містить значні кількості гідрогену, метану і його гомологів: CO, CO<sub>2</sub>, важкі вуглеводні, N та O<sub>2</sub>. Його використовують як паливо або для виробництва інших продуктів. H<sub>2</sub>S перетворюють на елементарну сірку. NH<sub>3</sub> використовують для виробництва азотно-фосфатних добрив.

При очищенні кам'яновугільної смоли і бензолу отримують легкі, середні і важкі масла, а також антрацитове масло та кам'яновугільний пек – компонент дорожнього дьогтю. Кам'яновугільний пек використовують для виготовлення електродів для електролізерів і електричних печей, як матеріал для ізоляції електромереж і підземних трубопроводів.

У процесі відстоювання кам'яновугільної смоли в сховищах отримують в'язучі відходи – фуси, смолянисті речовини (50...80 %), фенол, вугільний та коксовий пил, які містять залізисті та інші сполуки. Щільність фусів 1300...1400 кг/м<sup>3</sup>, розмір твердих включень 0,1...5 мм.

Фуси додаються в шихту при коксуванні, як паливо для котлів ТЕС. При використанні фусів як палива або в складі шихти для коксування і газифікації їх змішують з основними компонентами та іншими видами горючих відходів.

Інший напрямок утилізації фусів – використання їх в будівництві. На основі фусів виготовляються матеріали для захисних покриттів бетонних, залізобетонних та металевих виробів. Покриття мають стійку гідрофобність, високу міцність і водостійкість. На багатьох заводах через відсутність обладнання значна маса фусів не застосовується і надходить в накопичувач.

При очищенні бензолу H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> виходить відхід – кисла смолка, яка є чорною в'язкою масою з густиною 1280...1300 кг/м<sup>3</sup>, містить H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (до 10...30 %), бензолні вуглеводні і полімери.

Кислу смолку додають до шихти при коксуванні і використовують при виробництві бітумів різних марок, для отримання SO<sub>2</sub> з подальшою переробкою його в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Смолку також використовують як добавку до цементного клінкеру для інтенсифікації помелу та активізації твердіння цементу, як добавку до шихти при виробництві керамзиту. Після нейтралізації її можна використовувати для виробництва дорожніх дьогтів. Нейтралізацію здійснюють за допомогою лужних відходів та реагентів.



**Завдання 3.8.** При спалюванні вугілля марки АШ, яке містить 1,7% S<sup>p</sup>, – утворюється 34 г SO<sub>2</sub>/1 кг вугілля. Зазвичай димові гази із змістом SO<sub>2</sub> викидають в тропосферу. Розрахувати, яку масу H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> можна отримати при спалюванні 60 т/добу вугілля, якщо направити SO<sub>2</sub> на контактне окиснення в SO<sub>3</sub>. Прийняти ступінь окиснення 90 %.

**Завдання 3.9.** Визначити значення максимальної приземної концентрації SO<sub>2</sub> C<sub>м</sub>, мг/м<sup>3</sup> при викиданні газів коксохімічного виробництва.

Значення максимальної приземної концентрації шкідливої речовини C<sub>м</sub>, мг/м<sup>3</sup> при викиданні пилогазоповітряної суміші з одного точкового джерела з круглим гирлом досягається при несприятливих метеорологічних умовах та визначається за формулою:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (3.29)$$

де А – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери (для України на широті від 50 до 52 ° п.ш. А = 180, далі на південь А = 200); М – маса шкідливої речовини, що викидається у атмосферу, г/с; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин у повітрі: для газоподібних речовин та дрібнодисперсних аерозолів F = 1; для дрібнодисперсних аерозолів, при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення не менш 90 % F = 2; при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення до 90 % F = 2,5; при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення менш 75 % F = 3; η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості (у разі рівної чи слабкопересіченої місцевості з перепадом висот менше 50 м на 1 км η = 1); V<sub>1</sub> – витрата пилогазоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с; ΔT – різниця між температурою пилогазоповітряної суміші, що викидається та температурою навколишнього повітря, °C; m, n – коефіцієнти, що враховують умови виходу пилогазоповітряної суміші з гирла джерела викидання.

Значення коефіцієнтів m, n визначаються в залежності від наступних параметрів:

$$f = \frac{1000 \cdot w_0 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (3.30)$$

$$D = \sqrt{\frac{4V_1}{\pi w_0}} \quad (3.31)$$

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}} \quad (3.32)$$

$$V'_m = 1,3 \frac{w_0 D}{H} \quad (3.33)$$

$$f_e = 800 (V'_m)^3 \quad (3.34)$$

Коефіцієнт m визначається у залежності від f за формулами:

$$m = \frac{1}{(0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f})} \text{ при } f < 100 \quad (3.35)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \text{ при } f > 100 \quad (3.36)$$

Для  $f_c < f < 100$  значення  $m$  обчислюється при  $f = f_c$ .

Коефіцієнт  $n$  при  $f < 100$  визначається у залежності від  $V_m$  за формулами:

$$\left. \begin{aligned} n &= 1 && \text{при } V_m \geq 2 \\ n &= 0,532V_m^2 - 2,13V_m + 3,13 && \text{при } 0,5 \leq V_m < 2 \\ n &= 4,4V_m && \text{при } V_m \leq 0,5 \end{aligned} \right\} \quad (3.37)$$

Відстань  $x$  від джерела викиду, на якій приземна концентрація  $C_m$  досягає максимального значення, визначається за формулою:

$$x = \frac{5-F}{4} d \cdot H, \quad (3.38)$$

де безрозмірний коефіцієнт  $d$  знаходиться таким чином:

$$\left. \begin{aligned} d &= 2,48(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_c}) && \text{при } V_m \leq 0,5 \\ d &= 4,95 \cdot V_m(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_c}) && \text{при } 0,5 < V_m \leq 2 \\ d &= 7\sqrt{V_m}(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_c}) && \text{при } V_m > 2 \end{aligned} \right\} \quad (3.39)$$

При  $f > 100$  або у разі холодного викиду коефіцієнт  $d$  обчислюється за формулами:

$$\left. \begin{aligned} d &= 5,7 && \text{при } V_m < 0,5 \\ d &= 11,4 V_m && \text{при } 0,5 < V_m < 2 \\ d &= 16 V_m 0,5 && \text{при } V_m > 2 \end{aligned} \right\} \quad (3.40)$$

Розрахувати значення максимальної приземної концентрації шкідливої речовини та відстань від джерела викиду, на якій вона досягається. Вибір вихідних даних здійснюється за двома останніми цифрами залікової книжки студента з табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Вихідні дані для розрахунку максимальної приземної концентрації

Вихідні дані	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	SO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	сажа	CO	SO <sub>3</sub>	NO	SO <sub>2</sub>
$M$ , г/с	0,22	3,2	0,15	0,1	0,12	2,4	3,6	0,23	0,12	0,17
$H$ , м	100	80	80	120	100	60	80	100	80	60
$V_I$ , м <sup>3</sup> /с	4,12	5,2	3,4	2,2	2,1	3,2	5,2	2,3	1,45	2,7
$t_2$ , °C	120	87	120	130	132	89,2	79	150	120	100
$t_{н.новітря}$ , °C	12,4	20	22	15	16,1	15,2	10	13,3	15,7	17
$w_0$ , м/с	1,2	1,6	1,7	1,5	0,9	1,5	1,1	2,1	0,67	0,9

### 3.2.7 Утилізація відходів виробництва і споживання пластмас

До пластмас відносять велику групу матеріалів, головною складовою частиною яких є природні або синтетичні високомолекулярні сполуки (ВМС). Вони здатні при підвищеній температурі та тиску переходити у пластичний стан, формуватися під дією зовнішніх сил і потім після охолодження стійко тверднути і зберігати надану форму. Відходи виробництва і споживання пластмас виходять у вигляді злитків, брил, бракованих волокон, обрізків і браку при формуванні виробів [3, 16–17, 21].

На сьогоднішній день утилізують лише невелику частину з 80 млн. т пластмас, які щорічно випускаються світовою промисловістю. Відходи пластмас розкладаються дуже повільно або взагалі не розкладаються. При їх спалюванні відбувається сильне забруднення атмосфери HCl, азоту оксидами, аміаком, ціаністими сполуками та ін. компонентами.

Відходи використовують як добавки до сировини при виробництві того ж продукту або виробів менш відповідального призначення (для виробництва тари, підстилок, сувенірів та ін.)

У країнах ЄС широкого поширення набуло багатокомпонентне лиття, при якому вироби мають зовнішній і внутрішній шари. Зовнішній шар виготовлений з товарних пластмас високої якості, внутрішній – з перероблених відходів. Між шарами знаходяться наповнювачі – тальк, скляні або керамічні кульки. Такий спосіб утилізації застосовують при виготовленні меблів, предметів домашнього вжитку.

Відходи пластмасових виробів, які були у використанні направляють на звалища та полігони. В Україні вміст пластмас на звалищах становить 1,5...2 %, в країнах Західної Європи – 2...4 %, в Японії – до 10 %.

Відходи синтетичних матеріалів у вигляді волокон, пряжі, обрізків, можуть використовуватися для очищення промислових стічних вод. Наприклад, відходи пінополіуретану застосовують для очищення стічних вод, які містять нафту. Пластмасові відходи деяких видів можуть використовуватися як добавки в асфальтобетонні суміші, при цьому підвищується стійкість дорожніх покриттів до зношування.

Відходи полівінілхлориду виходять у вигляді обрізків, смуг при виробництві плівкових матеріалів, штучних шкір, а також матеріалів будівельного призначення – лінолеуму, шпалер. З відходів полівінілхлориду одержують лінолеум, плитку і плівку.

Пластмасові відходи характеризуються підвищеною стійкістю і довговічністю. Вони погано піддаються деструкції під впливом світла, води, температури і мікроорганізмів.

Ведуться пошуки таких складів пластмас, які після закінчення терміну служби виробів під дією ультрафіолетового випромінювання здатні розкладатися в порошок і засвоюватися мікроорганізмами, тобто пластмас, які піддаються біодеградації. Це пластмаси другого покоління.

Визначаються два шляхи створення таких пластмас:

1 – синтез пластмас, що спроможні розкладатися під дією біологічних факторів на основі синтетичних полієфірів;

2 – синтез пластмас, що спроможні розкладатися під дією біологічних факторів, на основі природних речовин (полісахариди – суміш поліетилену і крохмалю);

Зразки таких пластмас вже отримані. У 1999 р. був отриманий патент італійською фірмою "Феррузі" на пластик з поліетиленової тканини, яка складається з порожнеч, які заповнені на 10...50 % кукурудзяним крохмалем. Мікроорганізми руйнують такий пластик до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  за півроку. Такі пластмаси з регульованим терміном експлуатації застосовують для виготовлення пакувальних матеріалів, тари та плівки.

### 3.2.8 Утилізація відходів, що містять нафту

Відходи, що містять нафту, утворюються в технологічному процесі підприємств при використанні нафтопродуктів і на очисних спорудах, куди вони надходять зі стічними або зливними водами [3, 17, 23]. Нафтові відходи виходять у вигляді рідких нафтопродуктів, осадів і шламів і підрозділяються на такі групи:

– ММВ – масла моторні відпрацьовані (автомобільні, тракторні, дизельні, авіаційні та ін.);

– МІВ – масла індустриальні відпрацьовані (турбінні, компресорні, трансформаторні та ін.);

– СНВ – суміші нафтопродуктів відпрацьованих (нафтопродукти, які відокремлюють з нафтовмісних стічних вод на очисних спорудах; нафтопродукти, зібрані при зачищенні резервуарів, трубопроводів та ін.)

Нафтовмісні відходи – цінна мінерально-технічна сировина яка підлягає повторному використанню. Моторні масла (ММВ) здаються на нафтобазу. Забруднені та нафтопродукти, що містять воду, перед здачею на нафтобазу відстоюють з підігрівом до 60–65 °С. Зневоднення та очищення нафтовідходів проводиться фільтруванням або центрифугуванням.

Велика частина МІВ, як правило, регенерується на місці споживання. Шлами, що утворюються при регенерації масел, можуть бути використані для виробництва дорожніх бітумів.

Методи регенерації відпрацьованих масел:

– фізичний метод включає відстоювання, центрифугування, фільтрацію, відгін легких паливних фракцій, вакуумну перегонку, яка є найбільш ефективною;

– до фізико-хімічних методів регенерації масел відносяться: коагуляція забруднень різними коагулянтами, контактне очищення і очищення активованими адсорбентами;

– до хімічних методів очищення відносять сульфатно-кислотний і лужний.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  активно впливає на більшість забруднень і продукти окиснення олій: смоли, асфальтени, нафтові кислоти, сполуки сірки. Однак,

використання  $H_2SO_4$  пов'язано з утворенням важко утилізованого кислого гудрону. Це смолоподібне високов'язке масло, яке містять від 10 до 50 % невикористаного в процесі очищення  $H_2SO_4$ , від 30 до 60 % органічних сполук і 4...10 % води. Утилізують кислі гудрони з метою отримання  $SO_2$ , який надалі переробляється в  $H_2SO_4$ .

Термічне розщеплення цих відходів проводять в печах при температурі 800...1200 °С, при цьому відбувається утворення  $SO_2$  і повне вигорання органічних речовин. При вмісті органічних речовин 12...25 % додаткового палива не потрібно. Кислі гудрони сульфатнокислого очищення масел запропоновано переробляти в дорожні бітуми, в активоване вугілля з одночасною регенерацією  $H_2SO_4$ , а також використовувати кислі гудрони з вмістом сірки до 18 % як протифільтраційні екрани в основі полігонів ТПВ.

У процесі розкладання ТПВ виходить сильно концентрована рідина (фільтрат) з високим вмістом органічних і мінеральних речовин. При контакті кислого гудрону з фільтратом відбувається нейтралізація кислот з утворенням малорозчинних або нерозчинних солей. Такий екран був запроєктований у основі полігона ТПВ у м. Харкові. Згідно запропонованої технології кислий гудрон наноситься шаром товщиною 8...10 мм на природну ґрунтову основу з подальшим нанесенням захисного шару ґрунту товщиною 20...25 см.

### **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3**

При виборі способів переробки відходів необхідно врахувати значну кількість факторів прямої та непрямої дії. Навіть вибір методу переробки слід визначати виходячи з характеристик відходів: агрегатний стан відходу; хімічний склад, токсикологічні, пожеже- та вибухонебезпечні властивості відходів; кількість відходів тощо.

Тому у даному розділі автори приділили увагу методам, які широко використовуються в Україні для обробки або переробки широкої номенклатури промислових відходів: безреагентна переробка, електромагнітна обробка та саме переробка за галузями промисловості.

### **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 3:**

1. Які технологічні операції включає подрібнення відходів?
2. Які технологічні операції включає укрупнення відходів?
3. За допомогою яких пристроїв здійснюються операції класифікації та сортування?
4. Як поділяються гравітаційні способи сортування?
5. Для відділення яких матеріалів використовують магнітні методи?
6. Дайте визначення термінам діамагнетик, парамагнетик, феромагнетик.
7. Для часток якого розміру використовують магнітне збагачення матеріалів сухим способом?

8. В чому є явище магнітної флокуляції.
9. На якому принципі базується метод електродинамічної сепарації?
10. Для відділення яких матеріалів використовують електричну сепарацію?
11. На чому заснована електростатична сепарація?
12. На чому заснована сепарація в полі коронного розряду?
13. На чому заснована трібоадгезійна сепарація?
14. Флотація – як метод збагачення матеріалів та обробки стічної рідини.
15. Дайте характеристику відходам, які утворюються при виробництві фосфору у фосфатній промисловості.
16. Дайте характеристику відходам, які утворюються при виробництві фосфатної кислоти.
17. Дайте характеристику відходам, які утворюються при виробництві калійних добрив.
18. Дайте характеристику відходам, які утворюються при виробництві соди.
19. Утилізація відходів виробництва ацетилену.
20. Утилізація відходів виробництва сульфатної кислоти.
21. Утилізація відходів коксохімічного виробництва.
22. Охарактеризуйте напрями використання відходів виробництва пластмас.
23. Охарактеризуйте напрями використання відходів споживання пластмас.
24. Методи регенерації відпрацьованих масел.
25. Термічне розщеплення відходів, що містять нафту.

## **4 ПОБУТОВІ ВІДХОДИ. МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

### **4.1 СИТУАЦІЯ, ЩО СКЛАЛАСЯ З ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ**

Ситуація, що склалася з промисловими, а тим більше з побутовими відходами призводить до забруднення підземних і поверхневих вод, погіршення якості земельних ресурсів і особливо атмосферного повітря і, врешті-решт, – відповідним чином діє на здоров'я населення і зумовлює загальну деградацію навколишнього середовища.

Для підтвердження цього висновку *доцільно проаналізувати ситуацію, що склалася у м. Одесі та Одеській області.*

З урахуванням середньорічної норми накопичення (~ 627 тис т), наведеної Є.П. Баянською, можна прогнозувати, що на 01.01.2012 р. на території Одеси і Одеської області буде накопичено від 7221023,42 т твердих побутових і виробничих відходів [24].

За даними Одеської філії Державного управління екологічної безпеки в Одеській області щорічно утворюється понад 2,5 млн т відходів, з яких близько 10% відносяться до I...III класу небезпеки [2].

Ці відходи зберігаються майже на 415 [2, 25] звалищах і накопичувачах токсичних відходів, 153 складах для збереження відходів хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР). Тільки склади займають площу понад 800 га, їх розташування та експлуатація у переважній більшості не відповідають екологічним і санітарно-гігієнічним вимогам, та є джерелом екологічної небезпеки регіонального масштабу [26].

Відходи складаються на несанкціонованих полігонах, у лісосмугах, уздовж залізниць, по схилах водоймищ, моря, по берегах річок тощо. З 415 звалищ побутових відходів 129 не відповідають нормативним вимогам (відсутні огорожа, під'їзні шляхи, механізми, персонал та ін.). ТПВ м. Одеси знешкоджуються на двох звалищах: звалище № 1 – в Дальницьких кар'єрах, в 20 км від межі міста (96,2 га, працює з 1968 р.) і звалище № 2 – в місті, в районі цементного заводу (76,5 га) [26, 27, 28–29].

Полігон № 1 перевантажений, експлуатація його служить постійним джерелом забруднення навколишнього середовища, викликає скарги жителів с. Нова Долина Овідіопольського району. Перевантаженість полігону порушує технологічний цикл знешкодження сміття, не вистачає спеціальної техніки та обладнання. Протягом року на полігон вивозиться понад 2,1 млн. м<sup>3</sup> твердих побутових відходів від м. Одеси, м. Іллічівська і прилеглих сіл Овідіопольського та Біляївського районів [26–29].

"Тимчасовий" полігон № 2, де зараз збирається більшість відходів м. Одеси, не має нормативної санітарно-захисної зони. Він розташований всередині меж міста біля цементного заводу. При його організації не

передбачався прийом побутових відходів, а лише будівельного сміття – для рекультивації та перепланування місцевості.

Обидва звалища неупорядковані і майже повністю заповнені відходами різних видів, тому вже зараз гостро стоїть проблема переробки сміття. Накопичення ТПВ та їх самозаймання, призводить до забруднення атмосферного повітря, води, ґрунту.

При експлуатації автотранспорту щорічно виходить більше 6 тис. т зношених автошин, 5 тис. т технічних рідин, майже 1 млн. відпрацьованих повітряних і масляних фільтрів, 7 тис. т відпрацьованих автомобільних масел, 1,2 тис. т відпрацьованих акумуляторів [26–29].

Відпрацьований антифриз, який містить сполуки Zn, Cu, Al, тонко дисперсний алюмосилікат і заліза оксид, безконтрольно зливається на ґрунт, потрапляючи у водойми і завдаючи істотної шкоди навколишньому середовищу.

У зв'язку з конверсією оборонної промисловості, ліквідацією ракетно–ядерної зброї, транспортуванням та утилізацією високотоксичних компонентів ракетного палива, застарілих видів військової продукції та боєприпасів та ін. на території області на душу населення накопичилося до 250...300 кг твердих і рідких відходів. Найбільш характерними забруднювачами навколишнього середовища є нафтові вуглеводні, феноли, поліхлоровані біфеніли, Cd, Pb, Cu, Zn.

Аграрний сектор економіки за рівнем негативного впливу на природу прирівнюється сьогодні до екологічно небезпечних і багатовідхідних галузей промисловості. Нагромадження непридатних пестицидів почалося ще за часів СРСР, і початок цьому було покладено заборонаю застосування ДДТ в 1970 р. На даний момент затверджений перелік заборонених ХЗЗР становить майже 90 найменувань. В області налічується майже 1500 т непридатних заборонених невпізнаних сумішей ХЗЗР. Значна кількість їх зберігається на колишніх міжрайонних складах "Облагрохіма" (361 т) і на складах сільськогосподарських підприємств (270 т). Багато складів ХЗЗР перебувають у непридатному стані, залишилися практично нічийними. Аварійний стан складу ВАТ "Фрунзівська сільгоспхімія" на станції Затишшя останні 15 років є причиною забруднення сільгоспугідь, підземних вод, атмосферного повітря. Вміст пестицидів у ґрунті на межі санітарно-захисної смуги (500 м) перевищує гранично допустимий рівень від 2 до 26 разів. Крім того, в області накопичено понад 700 т заборонених і непридатних до застосування отрутохімікатів. На 8 складах ВАТ "Райсільгоспхімія" зосереджено 372 т хімічних засобів, решта зберігається на 145 складах колективних сільгосппідприємств і радгоспів. В області знаходиться "тимчасове" сховище для 800 т ДДТ витягнутих з затонулого в 1974 р. судна "Моздок". Крім того, в Одеській області розташований полігон "Радон" із захоронення радіоактивних відходів [26, 30–31].

НВО "Одеський біотехнологічний інститут" були проведені комплексні фізико-хімічні лабораторні дослідження. Вони підтвердили високу активність діючих речовин ХЗЗР. Металоорганічні пестициди зберегли свою активність повністю. Але стан самих цих препаратів такий, що використовувати їх за



прямим призначенням неможливо внаслідок їх довгострокового збереження, зміни співвідношень початкових компонентів та ін. Подальше їх збереження в умовах, що склалися небезпечно не прогнозованими наслідками для стану здоров'я населення і навколишнього середовища.

**Знешкодження відходів** – комплекс дорогих заходів. Тому в останнє десятиліття, особливо після жорсткості екологічних норм у розвинених промислових країнах, бурхливо розцвів **бізнес, заснований на експорті токсичних відходів**. Тим часом проблема утилізації власних відходів в Україні коштує дуже дорого [2, 25, 32].

У великих містах, де господарська діяльність найбільш сконцентрована на обмеженій території, – зосереджена значна чисельність населення. При цьому відбувається найбільш інтенсивне нагромадження твердих побутових відходів (ТПВ), які при неправильному й несвоєчасному видаленні й знешкодженні являють загрозу навколишньому природному середовищу [26–29].

При виборі ефективних систем збору, видалення, знешкодження й використання ТПВ досліджуються склад і властивості ТПВ за методиками [33].

При дослідженні ТПВ встановлюють морфологічний і фракційний склад, щільність, вологість, хімічний склад. Ці характеристики залежать від типу об'єкта утворення відходів, виду палива, яке використовують, клімату, місцевих соціальних, національних етнічних умов та інших факторів [26, 33, 34].

## 4.2 ВЛАСТИВОСТІ ТПВ

До **фізичних властивостей** ТПВ відносяться [33, 35, 36]: щільність, вологість, зв'язаність та зчеплення.

Щільність ТПВ може змінюватися залежно від пори року, кліматичної зони, фракційного й морфологічного складу. **Середнє значення щільності** ТПВ для міст України складає **190...230 кг/м<sup>3</sup>** [32]. Щільність ТПВ коливається залежно від благоустрою житлового фонду й сезонів року. Для упорядженого житлового фонду щільність ТПВ у весняно-літній сезон становить 0,18...0,22 т/м<sup>3</sup>, в осінньо-зимовий сезон 0,2...0,25 т/м<sup>3</sup>, для неупорядкованого житлового фонду із грубним опаленням 0,3...0,6 т/м<sup>3</sup>. Чим більше паперу й різних пластмасових упакувань, тем менша щільність ТПВ. Зі збільшенням вологості щільність ТПВ підвищується. У майбутньому щільність ТПВ великих міст за рахунок збільшення кількості різних упакувань знизиться до величини, близької 0,1 т/м<sup>3</sup> [32, 37 – 40].

**Вологість** відходів коливається від **60...70 %** навесні до 80...85 % влітку та восени. Вологість харчових відходів підприємств громадського харчування може досягати 95 %. Вологість є важливим показником керування біохімічними процесами в ТПВ. Загальна вологість середньої маси ТПВ по показникам Росії доходить до 60 % [32, 35, 36, 38–40].

**Зв'язаність і зчеплення.** Папір і картон, текстиль і пластмасові плівки формують структуру ТПВ та надають їм механічну зв'язаність. Липкі й вологі компоненти забезпечують зчеплення. Ці властивості ТПВ сприяють утворенню

порожнин у загальному обсязі ТПВ, особливо при їх складуванні у вертикальних бункерах, як наслідок – зависанню фрагментів ТПВ на стінках бункерів і прутах ґрат. Так, через ґрати 30×30 см ТПВ самостійно не провалюються. Для їхнього проштовхування потрібні додаткові зусилля. На стінках бункерів з кутами 65...70 ° відбувається налипання та зависання ТПВ. При тривалому зберіганні ТПВ злежуються, самоущільнюються і втрачають сипучість.

**Морфологічний склад.** Усереднений морфологічний склад, характерний для твердих побутових міських відходів умовно можна представити таким чином: папір, картон – 20...30 %, харчові нестатки – 28...45 %, деревина – 1,5...4 %, метал чорний – 1,5...4,5 %, метал кольоровий – 0,2...0,3 %, текстиль – 4...7 %, кістки – 0,5...2 %, скло – 3...8 %, шкіра, гума та ін. ... 1...4 %, каміння, фаянс – 1...3 %, полімерні відходи – 1,5...5 %, сміття з прибудинкових територій – 7...18 %, інше – 1...3 % [24, 32, 35, 36, 38–40].

У ЄС у якості типового прийнятий наступний склад ТПВ, % мас. сухої речовини: харчові відходи – 20...50, відходи з подвір'я – 12...18, папір і картон – 20...42, текстиль – 1...6, пластмаса – 3...8, деревина – 1...8, скло – 4...12, метали – 3...12, інші неорганічні відходи – 1...20 [39, 41–43].

Морфологічний склад ТПВ в Україні, окремих містах Росії, середньорічний склад ТПВ різних країн світу представлений даними табл. 4.1 – 4.3.

*Таблиця 4.1*

*Морфологічний склад органічної частини ТПВ та вміст основних хімічних елементів у сухій речовині її компонентів, Донецьк, 2011 р. [44]*

Морфологічний склад органічної частини ТПВ	Донецьк, 2011 р.		Процентний вміст, за масою основних хімічних елементів у сухій речовині органічних компонентів ТПВ					
	% вміст за масою	% вміст в органічній частині ТПВ	С	Н	О	N	S	Зола
Папір	21,0	44,5	45,4	6,1	42,1	0,3	0,12	6,00
Харчові відходи	12,0	25,4	41,7	5,8	27,6	2,8	0,25	21,9
Дерево	2,1	4,5	48,3	6,0	42,4	0,3	0,11	2,9
Текстиль	2,6	5,5	46,2	6,4	41,8	2,2	0,2	3,2
Шкіра, гума	4,6	9,5	59,8	8,3	19,0	1,0	0,3	11,6
Пластмаса	3,4	7,2	67,9	8,6	10,3	1,13	0,05	12,02
Кістки	1,6	3,4	59,6	9,5	24,7	1,02	0,19	4,99
Суміш компонентів	47,2	100	48,1	6,53	33,3	1,18	0,15	10,74

Таблиця 4.2

## Морфологічний склад ТПВ в окремих містах Росії [38–40]

Компоненти ТПВ	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Краснодар	Самара	Омськ	Волгоград	Саранськ	Кемерово
Папір, картон	700...1000	26,1	24,9	20,8	30,0	25,2	18,1
Харчові відходи	300...400	45,4	33,2	28,6	45,5	45,2	35,5
Дерево, листя	670...800	2,0	5,2	5,1	2,0	2,5	3,5
Текстиль	200	2,4	5,3	6,2	3,8	4,5	5,4
Шкіра, гума	860...1500	0,6	2,8	4,9	0,8	0,7	2,6
Пластмаси	950...1450	3,5	4,3	4,2	3,3	3,1	3,7
Кістки	550...760	1,3	2,4	5,1	1,5	2,1	2,8
Метал	7850	2,2	5,4	7,4	2,2	3,0	5,8
Скло	2500	2,7	7,3	8,9	3,0	3,2	13,1
Будівельне сміття,	2600...3000	1,9	2,9	1,9	1,0	0,8	2,4
Відсів	1500	12,0	6,3	6,9	7,0	9,7	7,1

Таблиця 4.3

## Середньорічний склад ТПВ деяких країн світу [37, 40–43]

Компоненти ТПВ	Австрія	Бельгія	Англія	Італія	Канада	США	Швейцарія
Папір, картон	28–36	32	29	30–40	52	32–45	40
Харчові відходи	20–35	22	25	25–35	15	13–19	24
Дерево, листи	2,0	1,0	2,0	3,0	1,5	10–20	2,0
Метал	2–5	3,5	8,0	4–5	5,0	8–9	8,0
Текстиль	1,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Пластмаси	5–6	5–6	7,0	6–8	4,0	4–6	4–5
Будівельне сміття, кераміка	9,0	0,5	2,0	3,0	—	2,0	1,0
Скло	8,0	4,0	10,0	7,9	5,5	8–10	8,0
Вугілля, шлаки	24	20	14	Враховане у відсіві	5,0	—	Враховане у відсіві

**Завдання 4.1.** Середньорічний морфологічний склад ТПВ деяких міст Росії представлено в табл. 4.2. Загальний обсяг відходів, що утворюється протягом року складає 3000 000 м<sup>3</sup>. Визначити маси фракцій у кг, якщо відома їхня щільність та процентний внесок у загальний склад ТПВ.

Таблиця 4.4

Приблизний морфологічний склад ТПВ м. Одеси [26–29]

Найменування	%	Середній, %	Середньорічне нагромадження ТПВ, тис. т
Папір	25...40	35	219,5
Харчові відходи	20...30	25	156,8
Дерево–листя	0,5...3,5	3	18,8
Текстиль	4...5	4	25,0
Метал	2...4	3	18,8
Скло	5...9	7	43,9
Шкіра, гума	0,5...3	2,5	15,7
Кістки	0,3...2	1,5	9,4
Очерет	0,5...3	1,5	9,4
Пластмаса	1,5...2,5	2	12,5
Відсів менше 16 мм	5...25	14	87,8
Інші частки відходів	0,5...2	1,5	9,4
РАЗОМ:			627

Особливо великі сезонні коливання складу харчових відходів в загальному обсязі ТПВ – з 28 % навесні до 45 % і більш влітку й восени. У складі ТПВ постійно збільшується вміст паперу, пластмас, фольги, різного роду банок, поліетиленових плівок і інших упакувань. До складу харчових відходів відносяться картопляні очищення, відходи овочів, фруктів, хліба та хлібопродуктів, м'ясні та рибні відходи, ячна шкаралупа та ін. ТПВ містять крохмаль, жири, білки, вуглеводи, клітковину, вітаміни. Баластні домішки харчових відходів представлені кістками, боєм скла й фаянсу, металевими кришками та банками.

**Фракційний склад.** Основна маса ТПВ представлена фракціями до 150 мм (80...90 %) і тільки менш 2 % (баластові домішки) представлені фракціями більш 350 мм. У табл. 4.5 наведені усереднені дані по **фракційному складу ТПВ** великого міста.

Як слід з наведених у табл. 4.5 даних, фракційний і морфологічний склад ТПВ взаємозалежний: чим більше в ТПВ харчових відходів, що мають в основному розміри менш 50 мм, тим більше в їхньому складі дрібних фракцій і навпаки, при збільшенні в складі ТПВ різних упакувань (картон, дерево,

пластмаса, та ін.), що мають розміри більш 150 мм, значну частку в масі відходів будуть становити великі фракції. У різні сезони року фракційний склад міняється.

Таблиця 4.5

Зміст складових ТПВ по фракціях, % від загальної маси [1, 24, 26, 41–43, 45]

Найменування складових ТПВ	Величина фракцій, мм				
	350...250	250...150	150...100	100...50	менш 50
Папір	3...8	9...11	9...11	7...9	2...8
Харчові відходи	—	0...1	2...10	7...13	17...22
Метал	—	0...1	0,5...1	0,8...1,6	0,3...0,5
Дерево	0,5...1	0...0,5	0...0,5	0,5...1	0...0,5
Текстиль	0,2...1,3	1...1,5	0,5...1	0,3...1,8	0...0,5
Кістки	—	—	—	0,3...0,5	0,5...0,9
Скло	—	0...0,3	0,3...1	0,5...1,5	0...0,3
Шкіра, гума	—	0...1	0,5...2	0,5...1,5	0...0,3
Будівельне сміття	—	—	0,2...1	0,5...1,5	0,5...2
Пластмаса	0...0,2	0,3...0,8	0,2...0,5	0,2...0,5	0,2...0,5
Сміття та ін.	—	0...0,5	0...0,5	0...0,4	7...11
УСЬОГО:	4...10	11...15	18...22	20...30	30...40

**Хімічний склад** відходів. Усереднені дані хімічного складу ТПВ для України, що відноситься в основному до середньої кліматичної зони, за вмістом таких елементів, як азот, фосфор, калій і кальцій показують, що ТПВ можуть бути віднесені до речовин, з яких можна одержувати цінні добрива.

**Завдання 4.2.** Хімічний склад ТПВ України представлено табл. 4.6. На прикладі міста, в якому утворюється протягом року 3000 000 м<sup>3</sup> ТПВ визначити загальні маси показників, що складають ТПВ без урахування вологості.

З метою збереження і можливості використання харчових відходів їх слід зберігати влітку при  $t \geq 6...7$  °С не більше 10 годин, взимку при тій же температурі до 30 годин.

**Як приклад можна навести хімічний склад відходів м. Одеси (у відсотках на абсолютно суху речовину) [24, 26]:**

Зміст органічної речовини – 40...75 %.

Зміст живильних елементів:

- нітроген загальний – 0,8...1,5 %;
- фосфор – 0,4...0,6 %;
- калій – 0,3...0,6 %;

- карбон – 25...40 %;
- зольність – 25...30 % до маси сухих відходів.

Таблиця 4.6

Хімічний склад ТПВ в різних кліматичних зонах, % від сухої маси  
[1, 24, 26, 37, 41–43, 45]

Показники	Кліматичні зони	
	середня	південна
Органічна речовина	56...72	56...80
Зольність	28...44	20...44
Нітроген загальний	0,9...1,9	1,2...2,7
Кальцій	2...3	4...5,7
Карбон	30...35	28...39
Фосфор	0,5...0,8	0,5...0,8
Калій загальний	0,5...1	0,5...1,1
Вологість (% від загальної маси)	40...50	35...70

**Компресійні властивості** [35–36, 46]. Для зменшення загального об'єму ТПВ при їх перевезенні та складуванні на полігонах важливо знати їх компресійні властивості, тобто вплив тиску на ступінь ущільнення. При пошаровому ущільненні на полігонах та питомому тиску, що дорівнює 0,1 МПа, обсяг рихлого ТПВ, вивантаженого із сміттєвозу, зменшується в 3...4 рази.

При пресуванні ТПВ у сміттєвозі та питомому тиску, який дорівнює 0,1 МПа, їх об'єм зменшується в 1,5...3 рази. При підвищенні питомого тиску до 0,3...0,5 МПа відбувається поломка різного роду пакувань, пресування паперу і плівок, починається видавлювання вологи. Обсяг ТПВ залежно від складу і вогкості може бути зменшений як мінімум в 5 разів від первинного, отриманого при зборі ТПВ у контейнерах.

Щільність ТПВ при цьому може досягати 0,8 т/м<sup>3</sup> та більше. При підвищенні питомого тиску до 1...2 МПа віджимається 80...90 % всієї вологи, що міститься в ТПВ при зборі. При цьому об'єм ТПВ знижується ще в 2...2,5 рази, а їхня щільність підвищується в 1,3...1,7 рази. Спресовані таким чином ТПВ біологічно стабілізуються, оскільки вмісту вологи в ТПВ недостатньо для активної життєдіяльності мікроорганізмів, а доступ кисню через високу щільність ускладнений. При подальшому підвищенні питомого тиску до 6 МПа відбувається майже повне віджимання вологи, але об'єм практично не змінюється. Мікробіологічне життя в такому матеріалі сповільнюється.

**Абразивні і корозійні властивості** [35]. Зіскоблювання поверхонь, що труть, відбувається за рахунок баластних фракцій: метал, скло, фаянс, кістки та ін. У зв'язку з цим ТПВ мають абразивні властивості й можуть стирати дотичні

з ними поверхні, які переміщуються. При контакті з металами ТПВ піддають їх поверхню корозії, що пов'язано з їх високою вологістю, наявністю у фільтраті розчинів різних солей і рН = 5...6,5).

**Теплотехнічні властивості** [24, 26]. Наявність у ТПВ великої кількості органічних речовин обумовлює їх теплотворну здатність. Теплотворна здатність ТПВ також залежить від їх щільності. Так, при зміні щільності від 200 кг/м<sup>3</sup> до 500 кг/м<sup>3</sup> теплотворна здатність ТПВ знижується з 8380 до 3938,6 кДж/кг.

Наприклад, теплотворна здатність ТПВ м. Одеси непостійна й змінюється залежно від пори року: зима – 2,21...6,4 МДж/кг; весна – 3,62...6,07 МДж/кг; літо – 3,4...6,51 МДж/кг, осінь – 1,52...4,36 МДж/кг.

**Санітарно-бактеріологічні властивості** [26, 35, 36]. ТПВ містять велику кількість вологих органічних речовин. При їх розкладанні виділяються гнильні присмаки та вологий фільтрат ТПВ. При висиханні продукти неповного розкладання утворюють насичений забруднювачами та мікроорганізмами (від 300 до 15 млрд на 1 г сухої речовини) пил. У результаті перенесення цього пилу вітром відбувається інтенсивне забруднення повітря, ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод. Рознощиками патогенних мікроорганізмів є мухи, щури, птахи, бездомні собаки й кішки.

У середовищі ТПВ розвиваються патогенні бактерії – носії різних захворювань. Окрім патогенних мікроорганізмів, ТПВ містять яйця гельмінтів. При складуванні ТПВ частина патогенних мікроорганізмів гине вже через декілька днів, тоді як інші їх види можуть існувати в таких умовах протягом декількох років. Яйця гельмінтів зберігають свою життєстійкість протягом багатьох років. З пилом або фільтратом ТПВ вони виносяться за межі складування відходів і є джерелами забруднення вод і ґрунтового покриву. Мікроорганізми, що знаходяться в ТПВ, є збудниками гепатиту, туберкульозу, дизентерії, аскаридозу, респіраторних, алергічних, шкірних і інших захворювань.

Одним з важливих **кількісних показників** в організації очищення міст від ТПВ є **нагромадження відходів**, що утворюються за дискретний період на розрахункову одиницю (людей для житлового фонду; одне місце в готелі; 1м<sup>2</sup> торговельної площі для магазинів і складів тощо).

Орієнтовні норми нагромадження ТПВ залежно від джерел їх утворення визначені СНіП 1160–75 (на 1 людину/рік). Для великих міст норми нагромадження ТПВ становлять 260...280 кг/рік на людину при середній щільності цих відходів 190...210 кг/м<sup>3</sup> [26, 32, 35, 37–40].

Склад ТПВ за останні десятиріччя суттєво змінився. Якщо на початку ХХ ст. на смітники вивозили залишки їжі та важку фракцію каналізаційних стоків, то зараз на першому місці перебувають такі компоненти: папір, скло, полімери, метали. Показовий до цього аналіз, проведений Європейською асоціацією утилізації ТПВ в 1993...1995 рр.[40]. Встановлено, що обсяг сухих відходів (папір, скло, пластмаса, метал, текстиль) нашим часом вже у два рази перевищує обсяг органічних відходів (залишки їжі, важкі фракції каналізації).

Динаміка зміни морфологічного складу відходів у різних країнах показує значне збільшення процентного вмісту полімерів у ТПВ в більшості країн [37, 40–43]. У промислово розвинених країнах: Японія, США, Німеччина, Франція та інші, частка полімерних матеріалів найбільша – 10...15 %, у Росії – близько 6 %. Цей показник практично в 10 раз перевищує показник 1950 р. Це пов'язано з більшим застосуванням в останні десятиліття полімерних матеріалів для пакування товарів споживання [32, 38–40, 46].

#### **4.3 МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

У цей час у світовій практиці широко поширені наступні методи переробки ТПВ [1, 3, 19, 21, 47, 48]:

- термічні методи переробки;
- переробка з виділенням компонентів, що є ВМР;
- депонування на смітниках і полігонах;
- вермікультивування;

В економічно розвинених країнах все менше побутових відходів вивозиться на полігони та смітники, і все більша їхня кількість переробляється промисловими способами. Зараз у США перестають робити ставку на сміттєспалювальні установки [37]. Проте в деяких країнах (Голландія, Японія) така практика використовується.

*Таблиця 4.7*

*Кількість ТПВ, що утворюються та спалюються в розвинених країнах [37, 40–43]*

Країна	Населення, млн.	Кількість ТПВ, що утворюються млн. т/рік.	Число сміттєспалювальних станцій, шт.	Відсоток спалювання ТПВ, %
Швейцарія	7	2,9	29	2,9
Японія	123	44,5	1893	72
Данія	5	2,6	32	65
Швеція	9	2,7	21	59
Франція	56	18,5	100	41
Голландія	15	7,1	9	39
Германія	61	40,5	51	22
Італія	58	15,6	51	17
США	248	180,0	168	16
Іспанія	38	11,8	21	6
Великобританія	57	35,0	7	5



Більш того, – виробіток і утилізація теплової та електричної енергії розглядаються як доповнення до знешкодження відходів. В цьому зв'язку особливу увагу привертає концепція "енергетичного балансу", яка запропонована робочою групою Всесвітньої енергетичної ради: **отримана енергія повинна покривати енергетичні витрати на саму переробку сміття.**

Утилізація сміття методом його спалювання широко застосовується в тих країнах, де гостро відчувається "дефіцит території" і введені обмеження на депонування певних видів відходів (Японія, Німеччина, Нідерланди, Данія та ін.). Більш докладному розгляду цієї проблеми присвячений спеціальний матеріал.

Альтернативою сміттєспалювальним заводам є **сміттєпереробні заводи.** При даній технології використовується метод біотермічного компостування – розкладання органічної речовини ТПВ мікроорганізмами. Кінцевим продуктом є компост, який можна використовувати як органічне добриво або як біопаливо. Такий світовий досвід починають застосовувати у Росії. В м. Пермі планується введення в експлуатацію заводу з біотермічної переробки міських ТПВ [1, 45].

Більш простим і менш сучасним, способом утилізації сміття є його **депонування на смітниках і полігонах ТПВ.** В такий спосіб утилізується в середньому 75...80 % від обсягу сміття, що утворюється в усьому світі. Порівняльні дані різних аспектів існуючих методів знешкодження й переробки ТПВ показані в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Існуючі методи знешкодження й переробки ТПВ [1, 26, 32, 37–40]

Найменування показника	Спосіб знешкодження		
	Складування на полігонах	Спалювання	Компостування
<b>1. САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНИЙ АСПЕКТ</b>			
1.1. Ступінь і строк знешкодження	До 1000 років	Повне за 1 годину	За 2...360 доби (крім спороутворюючих бактерій)
1.2. Забруднення ґрунтів	На ділянці складування	Немає	У межах норм (з урахуванням мікроелементів)
1.3. Забруднення повітряного басейну	На ділянці складування	У межах норм (з обліком С1-вмісних полімерів і ртуті)	Немає
<b>2. ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ</b>			
2.1. Утилізація побічних продуктів	Вічне депонування	Тепло, метал, шлаки	Немає

Будівництво заводу з такої біотермічної переробки відходів буде складатися з двох етапів: будівництво станції сортування ТПВ та цехів компостування, розрахованих на промислову переробку близько 600 000 м<sup>3</sup> відходів. Економічні розрахунки показали, що експлуатація такого заводу стає рентабельною, починаючи з річної продуктивності близько 500 000 м<sup>3</sup> ТПВ [1, 26, 34, 45, 48, 50].

У міру вичерпання ресурсів, які не поновлюються, велике значення приділяється дослідженням в *області переробки та сортування відходів*. Однак ясно, що навіть при сучасних технологіях проста ліквідація відходів на смітниках, як мінімум, на 65 % дешевше будь-якого способу їх переробки, і в силу цього даний спосіб ліквідації відходів у цей час найпоширеніший.

З одного боку, практично неможливо повторно використовувати всі компоненти ТПВ, тому що завжди будуть компоненти від спалювання відходів і іншої їхньої переробки, які зажадають їхнього кінцевого розміщення на смітниках. З іншого боку – поховання відходів на спеціально організованих полігонах може дійсно поліпшити структуру земель поганої якості [1, 45].

Таблиця 4.9

Порівняльна характеристика способів ліквідації сміття [37, 51]

Спосіб ліквідації сміття	Вартість утилізації 1 т сміття, \$ США	Ступінь зниження маси сміття, %	Можливість повторного використання сміття
Спеціально обладнаний смітник	35	30	Немає
Компостування сміття	До 70	50	Як добриво
Переробка сміття	До 70	90	Для одержання енергії

За кордоном досить інтенсивно освоюють ще один напрямок утилізації ТПВ – біохімічне розкладання ТПВ на елементи, які можна використовувати нарівні з дорогими первинними природними ресурсами. Наприклад, одержання звалищного газу як енергетичної сировини. Однак застосування такого методу вимагає, з одного боку, модернізації устаткування, а з іншого – сортування відходів, що обмежує застосування цього методу в нашій країні [41–42, 52–54].

І останнім з методів, які розглянуто є відносно новий, але такий що добре зарекомендував себе в практиці закордонного використання в США, Філіппінах, Великобританії, Нідерландах, Франції, Польщі та ін., – метод вермікультивування – переробка органічних відходів за допомогою олігохет[55–58].

### 4.3.1 Термічні способи переробки відходів

*Ідеальний техногенний об'єкт повинен виключати при своєму функціонуванні втручання в навколишнє середовище.* Крім того, сучасні вимоги створення нових технологій переробки відходів повинні враховувати необхідність відновлення вже порушеної екологічної цілісності навколишнього середовища.

Одними з найбільш розповсюджених засобів утилізації є термічні методи, при використанні яких відбуваються окиснення, розкладання та відновлення хімічних сполук, з яких складаються відходи. Найчастіше всі ці процеси відбуваються одночасно. Головною метою такої обробки є знешкодження відходів і зменшення їх обсягів, але поряд із цим ряд способів термічного впливу дозволяє одержувати з відходів коштовні товарні продукти.

До термічних методів відносять *рідкофазне окиснення, гетерогенний каталіз, газифікацію та піроліз відходів, вогневий і плазмовий методи.*

#### 4.3.1.1 Безполум'яні термічні способи утилізації відходів

*Метод рідкофазного окиснення* [3, 16, 19–21, 59–60] – "вологе" спалювання, – використовують для знешкодження рідких відходів і осаду стічних вод. Суть методу полягає в окисненні киснем повітря органічних і елементоорганічних домішок стічної води при температурі 150...350 °С і тиску 0,2...0,28 МПа.

Ефективність методу оцінюється повнотою окиснення органічної частини осаду та залежить в основному від температури обробки. Окиснення осаду супроводжується виділенням тепла. При вологості близько 96 % тепла, яке виділяється досить для підтримки температурного режиму, а енергія затрачається в основному на подачу стисненого повітря. Інтенсивне окиснення органічної речовини осаду киснем повітря відбувається протягом 30...40 хв.

Суміш осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу надходить по трубі 1 у прийомний резервуар 2, де попередньо нагрівається до 40...50 °С. Нагрітий осад живильним насосом 3 подається в насос високого тиску 4, який перекачує його через послідовно встановлені теплообмінники 5 і 6 у реактор 7. У напірний трубопровід насоса подається стиснене повітря від компресора 10. На вході в реактор температура пароповітряної суміші становить близько 240 °С.

Для окиснення на 50 % необхідна температура близько 200 °С, на 70 % і більш – 250...300 °С. Основна перевага методу рідкофазного окиснення полягає в невеликих витратах енергії на процес, тому що стічна вода зазнає лише незначного випару. Однак спосіб має недоліки: висока вартість, корозія устаткування, утворення накипу на поверхні теплообмінників, неповне окиснення відходів та ін. Через це спосіб рідкофазного окиснення застосовується досить обмежено.

**Метод гетерогенного каталізу** [3, 16, 19–21, 59, 60] застосовують для знешкодження газоподібних та рідких відходів з низькою концентрацією горючих домішок, коли застосування інших методів пов'язане з більшою витратою палива. Процес окиснення на каталізаторах здійснюють при температурі 200...300 °С, що значно нижче температури спалювання в печах (950...1100 °С). Найбільш ефективними каталізаторами є метали платинової групи, менш ефективні каталізатори, виготовлені з алюмінію, міді, хрому, кобальту, марганцю оксидів. Використання платини, родію та інших металів платинової групи дозволяє знизити температуру початку процесу окиснення. Термокаталітичні реактори застосовують для окиснення СО, Н<sub>2</sub>, вуглеводнів, NH<sub>3</sub>, фенолів, альдегідів, кетонів тощо. При цих реакціях утворюються СО<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О. Ступінь окиснення досягає 99,9 %. Для збільшення питомої поверхні каталізаторів застосовують керамічні пористі носії. На рис. 4.1 представлені схеми термокаталітичних реакторів.

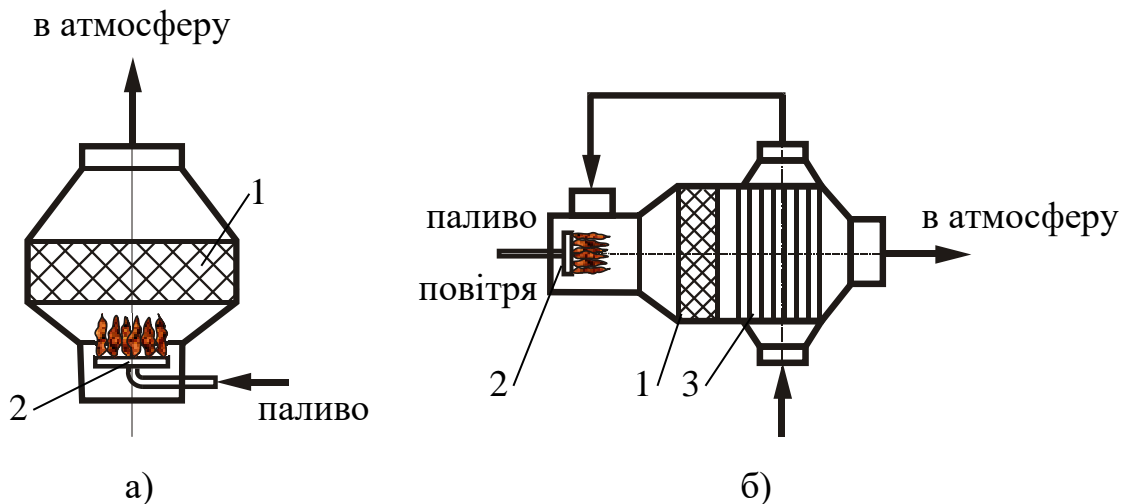


Рис. 4.1 – Схеми термокаталітичних реакторів [19]:

*а* – без теплообмінника (для знешкодження вентиляційних викидів); *б* – з рекуперативним теплообмінником (для знешкодження інертних газів); *1* – шар каталізатора; *2* – пальник; *3* – рекуперативний теплообмінник; *4* – шар інертного матеріалу; *5* – перекидний клапан;

*T* – паливо; *П* – повітря

Сучасні промислові каталізатори глибокого окиснення (Al – Cu, Al – Cu – Cr) – стійкі при температурах до 600...800 °С. При більш високих температурах каталізатори дезактивуються та механічно руйнуються. Тому застосування термокаталітичного методу для знешкодження відходів з високою концентрацією горючих компонентів недоцільно. Розведення газоподібних відходів повітрям або димовими газами з метою зниження адіабатичного розігріву призводить до збільшення витрати каталізаторів та інших витрат на знешкодження, а відвід надлишкового тепла з шару каталізатору суттєво ускладнює конструкцію та експлуатацію термокаталітичних реакторів.

Різновидом термокаталітичного окиснення є парофазне каталітичне окиснення, яке складається із двох процесів: перетворення органічних відходів

у парогазову фазу та наступного каталітичного окиснення їх у реакторі. Для переводу летючих органічних речовин у парогазову фазу застосовують апарати, що працюють на підігрітому повітрі або топкових газах. Метод парофазного каталітичного окиснення характеризується високою повнотою окиснення летючих органічних відходів (99,8 %) і великою продуктивністю устаткування.

**Газифікація** [32, 37–40, 61] є термохімічним високотемпературним процесом взаємодії органічної маси з агентами, що газифікують, у результаті чого органічні продукти перетворюються в горючі гази, смола та шлаки. Агентами, що газифікують, є повітря,  $O_2$ , водяна пара,  $CO$  та їхні суміші (рис. 4.2).

Газифікація здійснюється в механізованих шахтних газогенераторах із застосуванням повітряного, пароповітряного та парокисневого дуття. У порівнянні зі спалюванням, метод газифікації має наступні переваги: гази, що одержуються можуть бути використані в якості палива; смола, яка одержується може бути використана як паливо або хімічна сировина; зменшуються викиди золи та сульфатних з'єднань в атмосферу.

При газифікації з використанням повітряного та пароповітряного дуття одержують генераторний газ з низькою теплотою спалювання –  $3,5 \dots 6 \text{ МДж/м}^3$ . Такий газ непридатний для транспортування та може бути використаний тільки на місці одержання. При парокисневій газифікації одержують газ із теплотою спалювання до  $16 \text{ МДж/м}^3$ , який можна транспортувати на значні відстані.

Процес газифікації придатний для переробки дроблених сипучих газопроникних відходів.

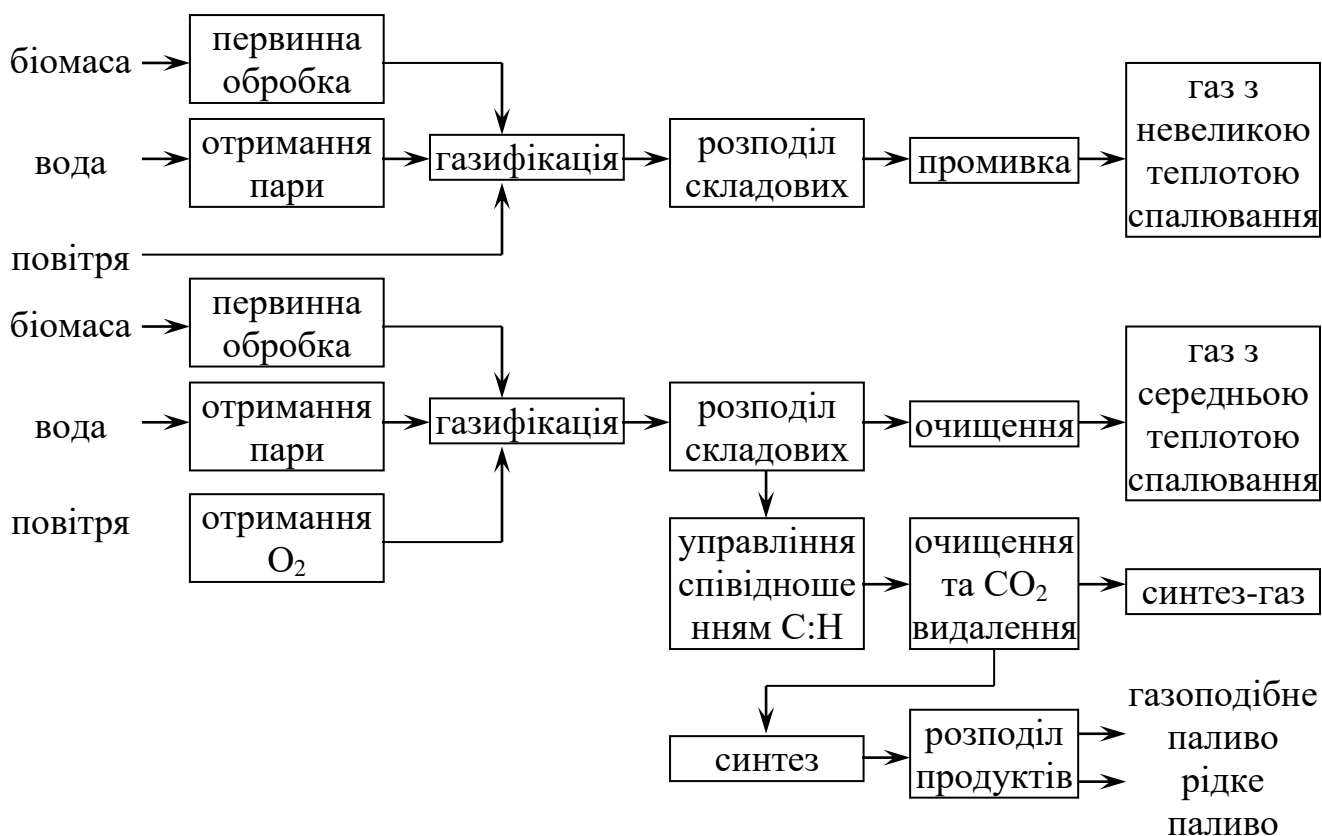


Рис. 4.2 – Схеми процесів газифікації [39]

**Піроліз** відходів полягає в термічному розкладанні відходів без доступу повітря [3, 16, 19–21]. Однак реальні піролітичні процеси, які використовуються при утилізації відходів, це – термічне розкладання при обмеженому доступі повітря. Тому вірніше використовувати термін **частковий піроліз**. У результаті піролізу утворюються: піролізний газ з високою теплою спалювання, рідкі продукти та твердий карбоновий залишок.

При піролізі органічної речовини відбувається не тільки її розкладання, але й синтез нових продуктів. Ці стадії процесу взаємозалежні та протікають одночасно [39, 61].

**Піролізом** переробляють тверді відходи, у тому числі відходи пластмас, гуми та ін.

В основу класифікації установок піролізу покладена температура процесу, тому що вона визначає кількість і якість продуктів, що утворюються. Залежно від температури розрізняють піроліз трьох видів [39, 61]:

– **низькотемпературний піроліз**, який проводять при 450...550 °С з утворенням максимальних кількостей рідкого продукту, твердого залишку та мінімальним виходом піролізного газу. Газ, який утворюється в такому процесі, має максимальну теплоту спалювання;

– **середньотемпературний піроліз**, який проводять при температурі до 800 °С. При цих умовах збільшується вихід газу, але знижується його теплота спалювання, одночасно знижується вихід рідкого та твердого продуктів;

– **високотемпературний піроліз**, який проводять при 900...1050 °С. При цій температурі вихід рідкого та твердого продуктів мінімальний, вихід піролізного газу максимальний, але такий газ має найнижчу теплоту спалювання.

Високотемпературний піроліз дозволяє більш інтенсивно та глибоко перетворити вихідний продукт, тому що при збільшенні температури швидкість реакції зростає швидше, ніж зростає втрата теплоти, відбувається більш повне виділення газоподібних продуктів, а кількість твердого залишку скорочується.

Як правило, **піроліз** проводять у вертикальній шахтній печі, куди відходи подаються зверху. Однак ряд фірм розробили та експлуатують піролізні установки, в яких використовують барабанні обертові печі, а також печі із "киплячим" шаром. Наприклад, барабанна обертова піч використана в схемі "Ландгарт", розробленою фірмою "Монсанто" в США, для термічної обробки сміття. Піроліз тут здійснюється при обмеженому доступі O<sub>2</sub>. Установка, що експлуатується за такою схемою має продуктивність 35 т/добу [37].

**Відходи**, що підлягають піролізу, **рухаються протиточно** потоку газів. Однак теплоти, що виділяється при їх спалюванні недостатньо, так як процес – ендотермічний. Для його здійснення підводять додаткове тепло, яке виділяється при спалюванні палива.

**Залишок твердих відходів після піролізу** попадає в шлакову ванну. Вона знаходиться наприкінці печі та заповнена водою, яка надходить з скрубера очищення газів, що відходять. Шлак направляється на магнітний сепаратор. Звільнений від заліза залишок являє собою склоподібну темну речовину.

**Піролізний газ** повністю спалюється в камері з вогнетривкою обмурівкою, куди подається повітря. **Теплова енергія** використовується для виробництва пари за допомогою парогенератора. Газ, що відходить, направляється в скруббер, та за допомогою димососа через димар викидається в атмосферу. Вода, що використовувалася в скруббері та шлаковій ванні, піддається очищенню на установці.

### **Приклади технології піролізу відходів**

Найважливішою частиною піролітичної установки є реактор, який нагадує шахтну піч.

**Приклад 1.** Наведений реактор має висоту 15 м, внутрішній діаметр 3 м та має продуктивність 300 т ТПВ/добу [37].

Відходи періодично завантажуються у верхню частину реактора та проходять через три зони: сушіння, піролізу, спалювання та плавлення. Гарячі гази із зони спалювання проходять нагору крізь шар відходів у зонах сушіння й піролізу. У зоні сушіння під впливом їх тепла відбувається випар вологи, що міститься у відходах. Відходи, які подають зверху, обмежують підсмоктування повітря через завантажувальний отвір. Під зоною сушіння розташована зона піролізу, де висушені відходи при обмеженому доступі повітря розкладаються з утворенням горючого газу, карбону та шлаків. Горючі гази піднімаються нагору та попадають у кільцевий канал, звідки вони разом з паром відсмоктуються вентилятором.

Основними компонентами піролізного газу є  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ . Теплота спалювання цієї суміші залежно від складу відходів і організації процесу становить 6,680...10,450 МДж/м<sup>3</sup>.

Частина енергії цього газу використовується для підігріву повітря, що необхідно подавати в зону спалювання реактора. Інша енергія передається споживачеві у вигляді газоподібного палива або у вигляді теплоносіїв.

Піролізний газ має перевагу перед природним, тому що не містить сполук сірки та азоту. Однак у зв'язку з низькою теплоотою його спалювання, труднощами акумуляції та зберігання піролізного газу його неможливо збирати й транспортувати на значну відстань, внаслідок чого споживач газу повинен знаходитися не далі 3 км від піролізної установки.

Кокс, який одержують при піролізі відходів, можна використовувати по-різному, залежно від його складу та фізичних властивостей. Коксовий залишок, що утворюється при піролізі осаду стічних вод, можна використовувати в якості сорбенту на станціях водопідготовки та очищення стічних вод. При піролізі автомобільних покришок одержують газову сажу, яка використовується у виробництві гумово-технічних виробів, пластмас, типографських фарб, пігментів. Можливі інші напрямки використання твердого залишку.

Піроліз відходів можна здійснювати в реакторах із зовнішнім і внутрішнім обігрівом. Зовнішній обігрів застосовують у реакторах у вигляді вертикальних колон або в обертових барабанних реакторах. У цих апаратах

піролізні гази не змішуються з газовими теплоносіями, тому характеризуються високою теплою спалювання. Крім того, газ, який одержують у реакторах із зовнішнім обігрівом, містить мінімальну кількість пилу, тому що не переміщується з газовим теплоносієм, який зазвичай пропускають крізь шар відходів.

У реакторах із внутрішнім обігрівом (вертикальні шахтні, із псевдоорідненим шаром, барабанні, що обертаються) теплоносієм є інертні та горючі гази, які не містять  $O_2$  та мають температуру 600...900 °С. Найбільш доцільно в якості теплоносія використовувати, саме піролізний газ, що утворюється.

У реакторах із внутрішнім обігрівом підвищується вміст пилу у піролізному газі, але така схема дозволяє суттєво інтенсифікувати процес піролізу та скоротити габарити реакторів у порівнянні з установками із зовнішнім обігрівом.

**Приклад 2.** У способі [62] утилізація відходів здійснюється в порожнині підземного газогенератора. Її формують за допомогою гідромоніторного агрегату. Стінкам і покрівлі порожнини надають вид зводу природної рівноваги в межах її проектних розмірів, після чого припиняють гідравлічне вилучення вугілля та здійснюють термічну підготовку масиву до газифікації.

Для цього в порожнину подають газ із температурою 350...400 °С. По завершенню цієї стадії порожнину газогенератора завантажують вуглецевмісною фракцією побутових відходів, які перед введенням у підземний газогенератор піддають піролізу при температурі 500...600 °С. Також в завантажений відходами газогенератор подають газову суміш, що включає в себе  $O_2$ ,  $CO_2$ , а після виходу процесу газифікації на стійкий режим до складу дуття вводять пари води. По закінченню газифікації першої порції відходів, порожнину газогенератора заповнюють наступною порцією відходів, – і так далі до повного заповнення порожнини газогенератора зольним залишком.

У ґрунті камери в процесі її гідравлічного вилучення формують зумпф. Джерелом газів для підготовки підземної порожнини до газифікації відходів є газотурбінна електрогенераторна установка, в якій спалюють газ – продукт газифікації вугілля.

Підготовка підземного газогенератора до роботи включає: буріння шпари 1 з поверхні до ґрунту вугілля 4 (з невеликим перебутом, що повинне забезпечити формування зумпфа 9). Потім у шпарі 1 розміщують обсадну колону 2 і вводять у шпару 1 гідромоніторний агрегат (не показаний), проводять гідравлічне руйнування вугільного покладу 4 з видачею вугільної пульпи на поверхню. Обсяг формованої підземної порожнини 3 визначається з умови забезпечення стійкості її стінок і покрівлі. Розміри й форму порожнини, що утворюється, 3 контролюють, наприклад, ультразвуковими методами. По досягненню заданих проектом розмірів порожнини 3 її осушують відкачкою на поверхню вугільної пульпи при розміщенні прийомного отвору гідромонітора безпосередньо в зумпфі 9.



До початку процесу утилізації побутових і промислових відходів відходи процесу газифікації накопичуються в герметичних ємностях.

У якості вихідної сировини для приготування матеріалу, який газифікують, використовують: відходи промислового виробництва; відходи гальванічного виробництва; стічні води, що містять нафту; ТПВ (макулатуру, текстиль, пластмаси).

Зазначені тверді відходи піддають збагаченню з виділенням твердої фракції, що не містить карбону: металу, скла, кераміки тощо). Це дозволяє повернути ці матеріали в господарський оборот.

Операцію збагачення виконують безпосередньо в районі розміщення газогенератора або на міських пунктах збору відходів, які оснащують відповідним устаткуванням. Технічний процес поділу відходів на фракції є наступним: відходи із прийомного відділення подають в обертові теплоізольовані барабани, що забезпечують подрібнювання й перемішування відходів. Постійна аерація відходів ( $0,2 \dots 0,8 \text{ м}^3$  повітря/ 1 кг) викликає роботу аеробної мікрофлори. При цьому температура маси відходів збільшується спочатку до  $20 \dots 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , а потім до  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Шляхом впливу термофільної мікрофлори температура ТПВ зростає до  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . При цьому відбувається знезаражування маси твердих побутових відходів завдяки ефекту їх пастеризації. Процес триває дві доби, після чого знешкоджені відходи подаються стрічковим конвеєром на сортування, де з відходів виділяють метали, скло та ін. фракції.

Підготовлені в такий спосіб тверді відходи вводять у робочу порожнину установки для піролізу відходів 5.

Конструктивно установка для піролізу відходів 5 представляє герметичну ємність із теплообмінними порожнинами 6, оснащеними трубопроводами для підключення до джерел теплоносія та відводу останнього, трубопроводом для відводу газоподібного продукту піролізу, і герметичними люками для завантаження відходів і вивантаження коксу.

Теплообмінні порожнини 6 зв'язують із шпарою для відводу газу 2 підземного газогенератора або з вихлопним колектором ГТУ 8 (або з обома названими об'єктами одночасно).

При подачі теплоносія в теплообмінні порожнини 6 маса відходів розігрівається (температуру процесу підтримують на рівні  $500 \dots 600 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Оскільки нагрівання проводять без доступу повітря, здійснюється піроліз маси відходів. Останні обвуглюються, втрачають вологу та летючі фракції. Вивантаження коксу, що утворюється, здійснюють через люк у нижній частині ємності 5, завантаження відходів - через верхню частину ємності.

По закінченню робіт з підготовки газогенератора 3 до роботи кокс вводять через шпару 1 у порожнину 3 газогенератора до її заповнення й подають дуття - газову суміш, що включає в себе  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ . Причому на першому етапі частку  $\text{O}_2$  мінімізують, поки не ініціюється процес газифікації відходів. Після чого зміст  $\text{CO}_2$  підвищують до проектного, а також до складу дуття вводять водяну пару.

Таким чином, здійснюється газифікація завантаженої порції підготовлених відходів, при цьому в процесі газифікації бере участь і масив вугілля. Інтенсивність газифікації цієї частини масиву стримується завдяки залишковій кількості води, що потрапила в нього при гідравлічному формуванні порожнини газогенератора 3 і "віджатої" у глиб вугільного покладу при термообробці порожнини 3.

При необхідності форсування теплового режиму в газогенераторі в дутті, що подається в порожнину 3, збільшують зміст  $O_2$ . Стабільні параметри матеріалу, що завантажується, забезпечують стабільну роботу газогенератора.

Таким чином, при наявності на околицях великих населених пунктів запасів вуглевмісних твердих корисних копалин, навіть непридатних до широкого промислового використання, забезпечується можливість утилізації з похованням побутових і промислових відходів при одночасному добуванні частини обсягів вугілля в природному виді.

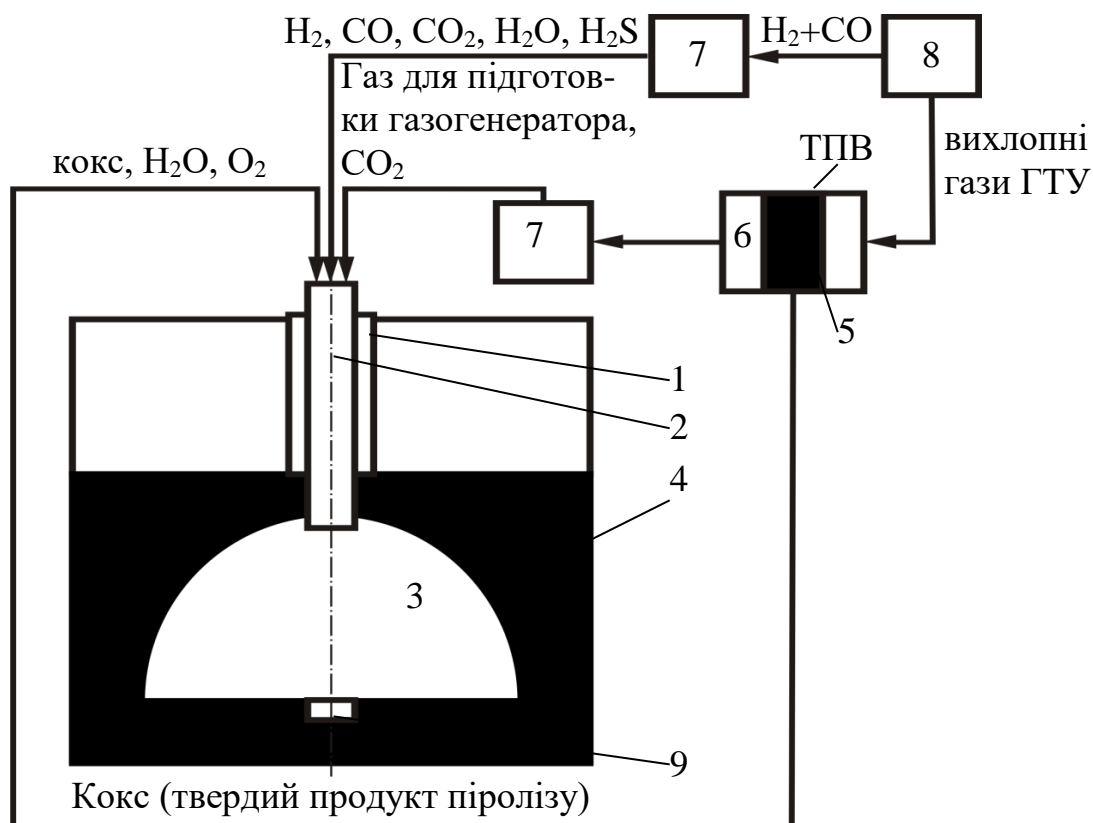


Рис. 4.2 – Схема реалізації утилізації відходів [62]:

1 – шпара; 2 – обсадна колона; 3 – порожнина газогенератора; 4 – поклад вугілля; 5 – установка для піролізу відходів; 6 – теплообмінні порожнини; 7 – блоки устаткування очищення газів, що відходять; 8 – газотурбінна установка, генератор електричного струму; 9 – зумпф

**Приклад 3.** Одним з варіантів технології *піролізу* відходів є розроблена в Донецьку технологія *багатоконтурного циркуляційного піролізу (БЦП)*. Така технологія [63] дозволяє створити сучасну техніку, яка забезпечує не тільки екологічно чисту утилізацію відходів, але й одержання з них

високоенергетичних рідких, твердих і газоподібних палив. Процес утилізації на відміну від спалювання повністю ізольований від навколишнього середовища, відбувається в герметичному реакторі й забезпечує ефективне розкладання всієї суміші різних за хімічним та фізичним складом відходів, що суттєво спрощує технологію сортування міського сміття.

Вперше з'явилася можливість утилізувати разом різносортні відходи: папір, гуму, шкіру, картон, полімери всіх видів, зношені автошини, текстиль, рідкі нафтові шлами тощо.

Набір суміші відходів має широкий діапазон молекулярних мас (104...106), і переробити їх за відомими технологіями піролізу [3] з одержанням на виході рідкої смоли легких фракцій не представляється можливим. Усі відомі процеси вимагають індивідуального технологічного режиму для кожного виду відходів, що неможливо створити в реакторах відомих конструкцій. Технологія БЦП є універсальним процесом, що забезпечує селективність індивідуального впливу на кожний полімер, що перебуває в парогазовій суміші, з одержанням на виході рідини легких фракцій з молекулярною масою близько 160.

### *Характеристики стадій процесу БЦП*

*Стадія перша.* Характеризується нагріванням суміші відходів, що перебувають у реакторі, в інтервалі температур 100...350 °С. Відходи повинні бути попередньо просушені з використанням утилізованого тепла димових газів до вологості 2...6 %. При цих температурах полімери, які не плавляться (гума, папір, текстиль, автошини, важкі нафтові шлами та ін.), зазнають часткової деструкції, з них починається газовиділення, у вигляді невеликої кількості летючих продуктів, що складаються із вуглецю оксидів та водяної пари. Термопластичні полімери починають плавитися, і перехід їх зі склоподібного стану до повного плавлення відбувається не при строго певній температурі, а у всьому інтервалі температур 100...350 °С. Це пов'язано, з одного боку, з різноманітністю полімерів, а з іншого – зі структурною побудовою самих полімерів.

*Стадія друга.* Характеризується наявністю процесу термодеструкції при первинному піролізі органічних відходів в інтервалі температур 450...550 °С. Термодеструкція супроводжується певними реакціями розщеплення вже нагрітих або розпавлених полімерних відходів. Реакції, що протікають при первинному піролізі вуглеводнів, можна розділити на первинні та вторинні [64].

До первинних реакцій відносяться перетворення вихідних продуктів незалежно від того, перебувають продукти реакції в рівновазі з вихідною речовиною або розпад відбувся.

Під вторинними реакціями розуміють перетворення, при яких продукти первинного розпаду, реагують між собою або вступають в реакцію з вихідним продуктом. У зв'язку із широким спектром різнорідних речовин, що вступають у реакцію при термічному розкладанні суміші різноманітних відходів, вторинні реакції займають значне місце в загальному обсязі всіх реакцій.

Таким чином, процес термодеструкції високомолекулярних полімерів є складний комплекс послідовних та паралельних реакцій, що одночасно протікають. До них відносяться реакції розщеплення, дегідрування, синтезу, деполімеризації, конденсації та ін.

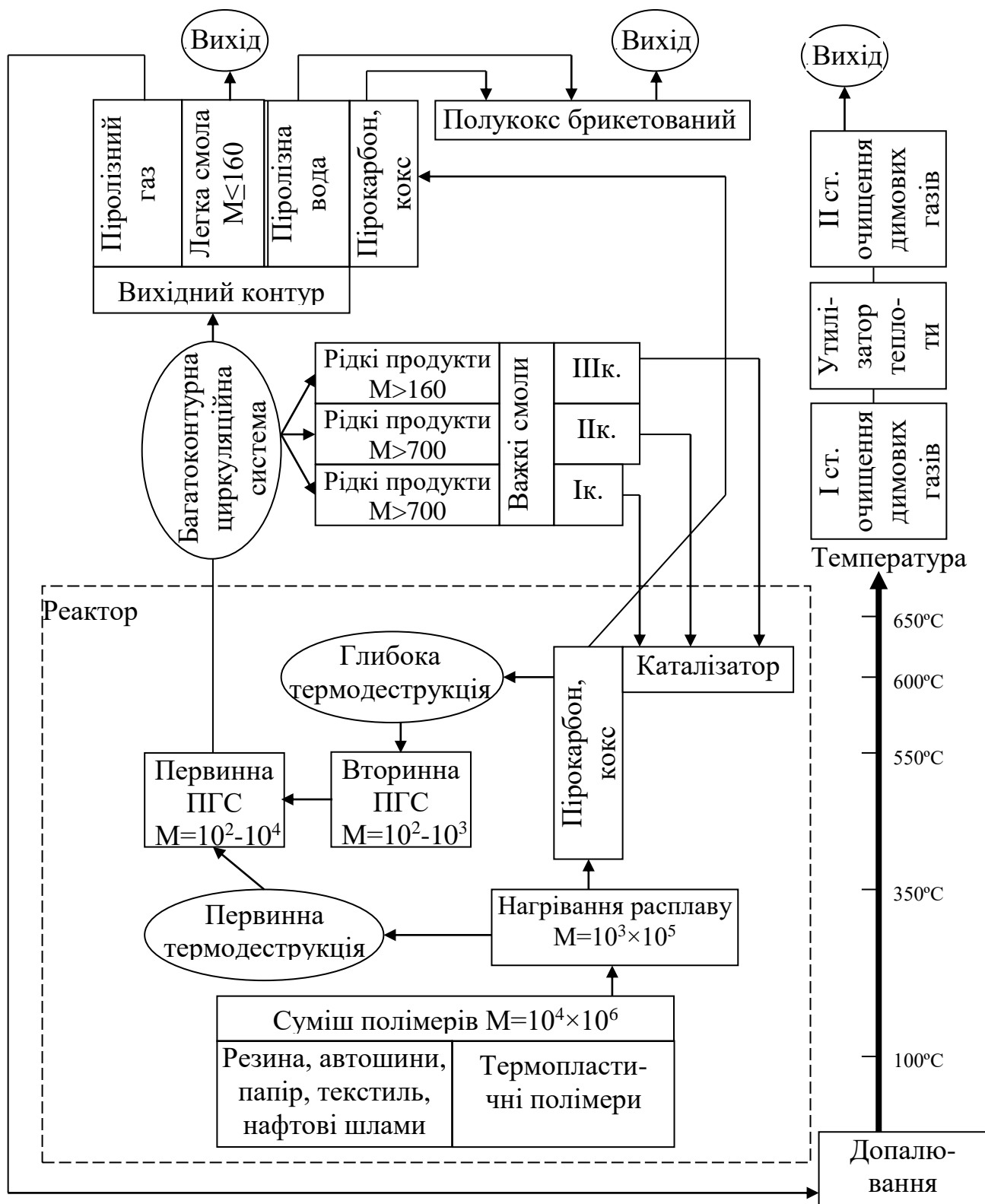


Рис. 4.3 – Схема сукупності процесів за технологією БЦП [63]

*Стадія третя.* Характеризується глибокою деструкцією продуктів первинного розпаду за рахунок селективного відбору важких складових рідких смол із градацією їх за величиною молекулярних мас і поверненням кожної з них у певну температурну зону реактора на поверхню перегрітого пірокарбону, який є каталізатором.

Оскільки інтенсивність утворення первинної парогазової суміші (ПГС) по довжині реактора зменшується, це приводить до підвищення температури пірокарбону до 650 °С. Отже, рідкі продукти I контуру з  $M > 1500$  попадають на пірокарбон з температурою 650 °С, II контуру з  $M > 700$  – на пірокарбон з температурою 600 °С, а III контуру з  $M > 160$  на пірокарбон з температурою 550°С.

Такий розподіл забезпечує ефективне використання пірокарбону як каталізатора при максимальному використанні утилізаційного тепла перегрітого пірокарбону, що дозволяє збільшувати ККД технології БЦП на 15...20 %. Крім того, при влученні рідкої фракції на перегрітий пірокарбон відбувається підривне скипання останнього з інтенсивним утворенням вторинної ПГС, що дозволяє суттєво збільшити швидкість реакції розкладання складових важких смол.

Глибока термодеструкція важких фракцій смол при проходженні через контури реактора супроводжується утвором вторинної ПГС і додатково невеликої кількості твердого залишку (коксу). Наявність коксу є непрямим показником вмісту у важких фракціях смоли високомолекулярних смолистих нестабільних парафінових і ароматичних з'єднань.

Далі утворена вторинна ПГС змішується з первинною та знову надходить у багатоконтурну циркуляційну систему, де важкі фракції конденсуються на першому контурі, а більш легкі переходять на наступні контури. Легкі фракції із заданими характеристиками надходять на вихідний контур, а всі інші, що відносяться до розряду важких фракцій, багаторазово циркулюють у контурах до повного їхнього розкладання й зниження молекулярної маси до заданої величини. Процес іде доти, поки на виході не одержимо весь обсяг рідини легких фракцій, відповідної до заданих характеристик молекулярної маси не більш 160. Змінюючи температурний режим кожного щабля циркуляційної системи, можна регулювати глибину деструкції на кожному контурі й відповідно збільшувати або зменшувати глибину деструкції важких фракцій смол, що надходять на даний контур.

Додаткові енерговитрати, пов'язані з підтримкою робочої температури реактора в процесі рециркуляції важких фракцій, компенсуються спалюванням піролізного газу, додатково виділеного в результаті збільшення глибини розкладання вуглеводнів. Отже, процес додаткового розкладання проходить у режимі самозабезпечування. При цьому зменшується кількість вихідного рідкого продукту, однак це зменшення незначне (у межах 4...6 %). З економічної точки зору такі втрати виправдані, тому що вартість отриманого в результаті даного процесу рідкого палива збільшується на 40...60 %.

Таким чином, чим більше молекулярна маса вихідної сировини, тим більша глибина деструкції необхідна й відповідно збільшується загальний

коефіцієнт рециркуляції. У результаті збільшується час піролізу, пропорційно збільшується кількість піролізного газу, що виділяється та який необхідний для підтримування заданого температурного режиму реактора.

При технології БЦП не потрібно додаткового устаткування фракціонування рідкого палива, тому що за рахунок керування глибиною деструкції на виході відразу виходить те паливо, яке необхідно.

Управління глибиною деструкції за технологією БЦП визначається трьома факторами: перший – стабілізована температура кожного контуру в комбінації з температурою пірокарбону в реакторі; другий – співвідношення стабілізованих температур сусідніх контурів; третій – кількість контурів. Коли ці три умови обрані правильно, то ККД установки може досягати  $\eta = 0,48 \dots 0,52$ . Якщо забезпечити утилізацію тепла вихідних димових газів і пірокарбону, то ККД можна збільшити до величини  $0,68 \dots 0,75$ .

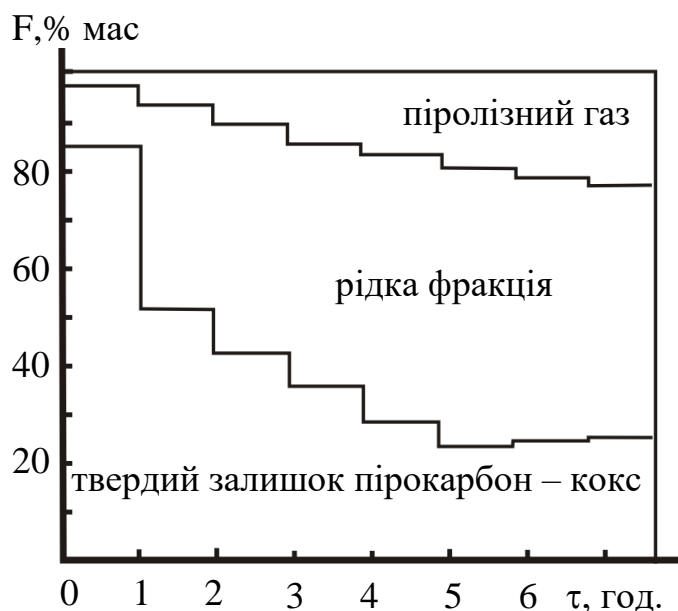


Рис. 4.4 – Діаграма матеріального балансу при термічному розкладанні суміші відходів полімерів при постійній температурі 500 °С и різному часі обробки.

**Завдання 4.3.** На рис. 4.4. наведено діаграму матеріального балансу при термічному розкладанні суміші відходів полімерів при постійній температурі 500 °С і різному часі обробки. Розрахувати за допомогою графіків кількість складових, % мас. через 1,5; 3; 4,5 та 6 годин після початку обробки 123 кг суміші полімерів.

При прийнятій температурі 500 °С розглянемо матеріальний баланс при обробці суміші полімерів за технологією БЦП протягом різного часу. Час  $\tau$  представлено без обліку часу нагрівання до 500 °С, яке склало 1,6 годин. Після першої години роботи реактора в заданому режимі відбувся стрибок кількості рідкої фракції, що пояснюється розкладанням і виділенням найбільш легких фракцій летючих фракцій, а потім пішов плавно наростаючий процес

розкладання протягом 6 годин. При подальшому збільшенні часу відбувається додаткове розкладання легких рідких фракцій смоли, що приводить до зменшення її кількості, і відповідно збільшується кількість піролізного газу та коксу. Звідси випливає, що максимальним часом обробки можна прийняти 6 годин. Однак, зазначений час сильно залежить від умов теплопередачі усередині реактора. Якщо забезпечити інтенсивне перемішування відходів усередині реактора, то даний час можна зменшити до 4 годин.

Показано, що змінюючи температуру та час обробки, можна регулювати співвідношення рідкої смоли, піролізного газу та пірокарбону.

Технологія БЦП дозволяє управляти даним процесом, забезпечуючи глибоку деструкцію різноманітних високомолекулярних органічних відходів. За певних умов можна весь склад органічних відходів переробити на піролізний газ, який допалюється в спеціальних пальниках, забезпечуючи екологічно чисту утилізацію небезпечних для людини відходів. Одержувану рідку фракцію можна спалювати в котельних. Однак, як показали попередні дослідження, вона містить дуже коштовні ароматичні з'єднання, які можуть успішно використовуватися в хімічній промисловості. Пірокарбон разом з коксом також може використовуватися як тверде паливо, однак він може бути коштовною сировиною в металургійній, електротехнічній, гумовотехнічній та інших галузях промисловості.

#### 4.3.1.2 Полум'яні методи утилізації відходів

*Спалюванням* називається контрольований процес окиснення твердих, рідких або газоподібних горючих відходів.

Перше систематичне використання сміттєвих печей було випробувано в м. Нотінгемі, Англія, у 1874 р [37]. При спалюванні обсяг сміття зменшився на 70...90 %, тому процес знайшов своє застосування по обидві сторони Атлантики, табл. 4.10.

Густонаселені та найбільш великі міста незабаром впровадили експериментальні печі, але не всюди вдалося виправдати витрати. Значні витрати на них були б доречні тоді, коли не було б дешевого способу поховання. В багатьох містах, незабаром відмовилися від такого способу утилізації відходів – через погіршення складу повітря. Поховання відходів виявилось в числі найбільш популярних методів вирішення даної проблеми.

У наш час точно така ж кампанія починається в Росії [40]. Виявляється, в Росії настала сміттєва криза, усі міста, великі та малі, завалені сміттям. Скоро міста задихнуться від диму палаючих несанкціонованих смітників. Закінчити цей абзац можна короткою цитатою з виступу Пола Кеннетта, відомого фахівця з ССЗ і протиборця проти їхнього будівництва, на великому симпозіумі з питань викиду діоксинів в 1997 р. Він розповідав про заборону будівництва ССЗ у багатьох штатах Америки та у Канаді і відзначив, що в той час як у Західній Європі кількість ССЗ, що будуються поступово падає, а в США взагалі

скорочується, уряди інших країн мають намір побудувати 200 нових ССЗ, але, в основному, у Південній Азії та у Східній Європі[66].

**Чому ж при вартості спалювання 1 т сміття в \$56, а вартості поховання \$28 за 1 т, у США працюють (2007 р.) 87 МСЗ?**[14]. Зараз вони спалюють 34,1 % від усього обсягу сміття в США.

Найголовніше з цього то, що для зниження вартості заводів вимоги до складу викидів у Південній Азії та у Східній Європі не будуть такими жорсткими, як у Німеччині або в Голландії. **На жаль знову використовується фальшивий аргумент про "одержання енергії" і про залучення приватних інвестицій.**

Таблиця 4.10

Кількість ССЗ у розвинених країнах [37, 40, 61, 65]

Країна	Кількість ССЗ	% сміття, що спалюється	% сміття, що спалюється з одержанням енергії (палива)	%, надлишкового мулу станцій БХО, що спалюється
Канада	17	9	7	невідомо
США	87	16	невідомо	невідомо
Японія	1900	75	майже всі	невідомо
Швеція	23	55	86	0
Данія	38	65	майже всі	19
Франція	170	42	67	20
Нідерланди	12	40	72	10
Германія	47	35	невідомо	10
Італія	94	18	21	11
Іспанія	22	6	61	невідомо
Великобританія	30	7	33	7

За останні роки технологія спалювання відходів перетерпіла значні зміни, суть яких полягає в створенні багатоступінчастих систем очищення продуктів спалювання, а також в утилізації тепла, що виділяється. Проте з обліком капітальних і поточних витрат технологія знешкодження відходів шляхом спалювання вимагає значно більше капітальних витрат на облаштуваність, ніж їхнє депонування.

Наприклад, одна з вагомих складових будь-якого ССЗ – це система очищення газів, які відходять. Це сама найдорожча частина. Вартість очисних споруджень складає не менш 50 % від загальної вартості ССЗ. На цьому й намагаються заощаджувати. Звичайно встановлюють водяний скруббер і електростатичний фільтр, також текстильні фільтри для уловлення пилу. Якщо вам доведеться оцінювати проект ССЗ, обов'язково зверніть увагу на послідовність зменшення температури газу після самої печі та зв'язок цієї температури з утворенням діоксинів.



Таблиця 4.11

## Капітальні витрати на будівництво ССЗ [32, 37, 40]

Держава, місто	Рік введення в експлуатацію	Встановлена продуктивність, тис. т рік	Вартість виробництва, млн. дол. США	Питомі капіталовкладення, дол. США/ 1 т ТПВ
Нідерланди, м. Вістер	1993	720	300	417
США, Північна Кароліна, м. Шарлотта	1992	150	92	613
Канада, м. Монреаль	1993	600	223	372
Німеччина, Харбург, м. Карнапш	1987	600	280	467
Німеччина, м. Бонн	1991	210	150	715
Пуерто-Ріко	1991	300	82	273

Як пов'язаний так званий "гарячий електростатичний фільтр" з утворенням діоксинів. Він не затримує діоксини, які вже містяться в газі, а також генеруються при охолодженні газу перед викидом в димову трубу.

Так, при обстеженні ССЗ у шт. Флорида на ССЗ були отримані наступні результати [37]:

Температура на електростатичному фільтрі, °С	Викиди діоксинів, нг/м <sup>3</sup>
242	893
282	2100
347	8533

Слід також звернути увагу, на те що навіть найкращі вугільні фільтри не дозволяють утримати викиди діоксинів у рамках Європейських норм: зміст діоксинів у газах, що відходять від ССЗ в одиницях I-TEQ не повинний перевищувати 0,1 нг/м<sup>3</sup>[40].

Незважаючи на перераховані недоліки вогневий спосіб знешкодження відходів є найбільш універсальним, надійним і ефективним у порівнянні з іншими. У багатьох випадках він є єдино можливим способом знешкодження промислових і побутових відходів. Спосіб застосовується для утилізації рідких, твердих, газоподібних і пастоподібних відходів.

**Область застосування** методу спалювання та номенклатура відходів, що підлягають вогневому знешкодженню, постійно розширюються. Цим способом утилізують відходи хлорорганічного, целюлозно-паперового виробництва,

машинобудування, органічного синтезу, виробництва пластичних мас, гуми та синтетичних волокон, нафтопереробної, хіміко-фармацевтичної, мікробіологічної, радіотехнічної, приладобудівної промисловості та багатьох інших галузей, рис. 4.5.

На характер процесу спалювання впливають наступні технологічні параметри: температура у реакторі, питома навантаження, робочий обсяг реактора, дисперсність розпилення, аеродинамічна структура та ступінь турбулентності газового потоку в реакторі та ін.

Спалювання твердих відходів здійснюється в печах різної конструкції, основним елементом яких є колосникові ґрати, на яких, властиво, і протікає процес. Простір усередині печі розділено на кілька зон, де послідовно протікають процеси, у результаті яких відбувається спалювання відходів.

Процес спалювання можна умовно розділити на **п'ять стадій**, які протікають послідовно, але можуть проходити одночасно: **сушіння, газифікація, запалення, спалювання та допалювання**.

У **зоні сушіння** волога, що міститься у відходах, перетворюється в пару. Загальна потреба в енергії на цій стадії складається з енергії, необхідної для підвищення температури відходів до  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 334\text{ кДж/кг}$ , і енергії, необхідної для перетворення води в пару,  $\sim 2260\text{ кДж/кг}$ . Температура інших компонентів відходів, не може перевищувати  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  доти, поки вода не перетвориться в пару.

На наступній стадії в **зоні газифікації** відбувається перетворення горючих речовин у летючі компоненти. Гази, проходять скрізь топку, попадають у зону запалення та запалюються при  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поширення горіння інтенсифікується при підвищенні щільності та обсягу газового потоку. Після **запалення газів** додаткове підведення тепла не потрібно. Важливо, щоб шар матеріалу, що спалюється, був рівномірним і мав потрібну висоту. Звичайно відходи засипають у піч шарами висотою  $100\dots 120\text{ см}$ .

У **зоні спалювання** температура відходів підвищується. Для повного їхнього спалювання та охолодження колосників у цій зоні необхідне підведення достатньої кількості повітря, причому важливо, щоб відходи довго перебували в зоні високих температур. Якщо утилізують неопрацьовані відходи, з підвищеною вологістю, то період їх повного спалювання становить не менш 3 годин.

У **зоні допалювання** відбувається догорання горючих газів і охолодження шлаків повітрям або водою до  $250\dots 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Побутові відходи являють собою суміш різних матеріалів у тому виді, у якому вони накопичуються в сміттєзбірниках. Як правило, на спалювання повинні надходити тільки ті відходи, які не можуть бути утилізовані іншими способами.

Відходи із прийомного бункера ґрейферним захватом подаються в завантажувальний бункер. Спалювання в печі відбувається на рухомих колосникових ґратах. Необхідне для спалювання відходів повітря подається повітродувкою під ґрати. Конструкція печі передбачає спалювання як твердих, так і рідких відходів. Для цього в печі є форсунки для впорскування рідких

відходів. Котел дозволяє утилізувати тепло, яке виділяється при горінні відходів, і одержувати перегріту пару. Димові гази проходять очищення від золи та ін. домішок у, електрофільтрі, а потім димососом викидаються через трубу, висота якої розраховується з урахуванням значення граничних концентрацій шкідливих речовин. Шлаки, що утворюються при спалюванні відходів, після їх охолодження водою видаляються транспортером на подрібнювання.

Розроблені різноманітні установки для спалювання відходів. Типова технологічна схема сміттєспалювального заводу представлена на рис. 4.6.

Установки для спалювання відходів можуть бути систематизовані по продуктивності, конструкції ґрат, характеру використання продуктів спалювання, типу застосовуваного палива, виду відходів, що спалюються.

Конструкція колосникових ґрат відіграє дуже важливу роль, оскільки вона повинна забезпечувати: транспортування відходів; рівномірне горіння та максимальне використання всієї поверхні ґрати; підведення повітря для горіння; підтримку та переміщення відходів, які спалюють.



Рис. 4.5 – Сміттєспалювальний завод "MOP", о. Майшима, Осака, Японія, 1997 – 2001 рр. Архітектор Фридрих Штовассер

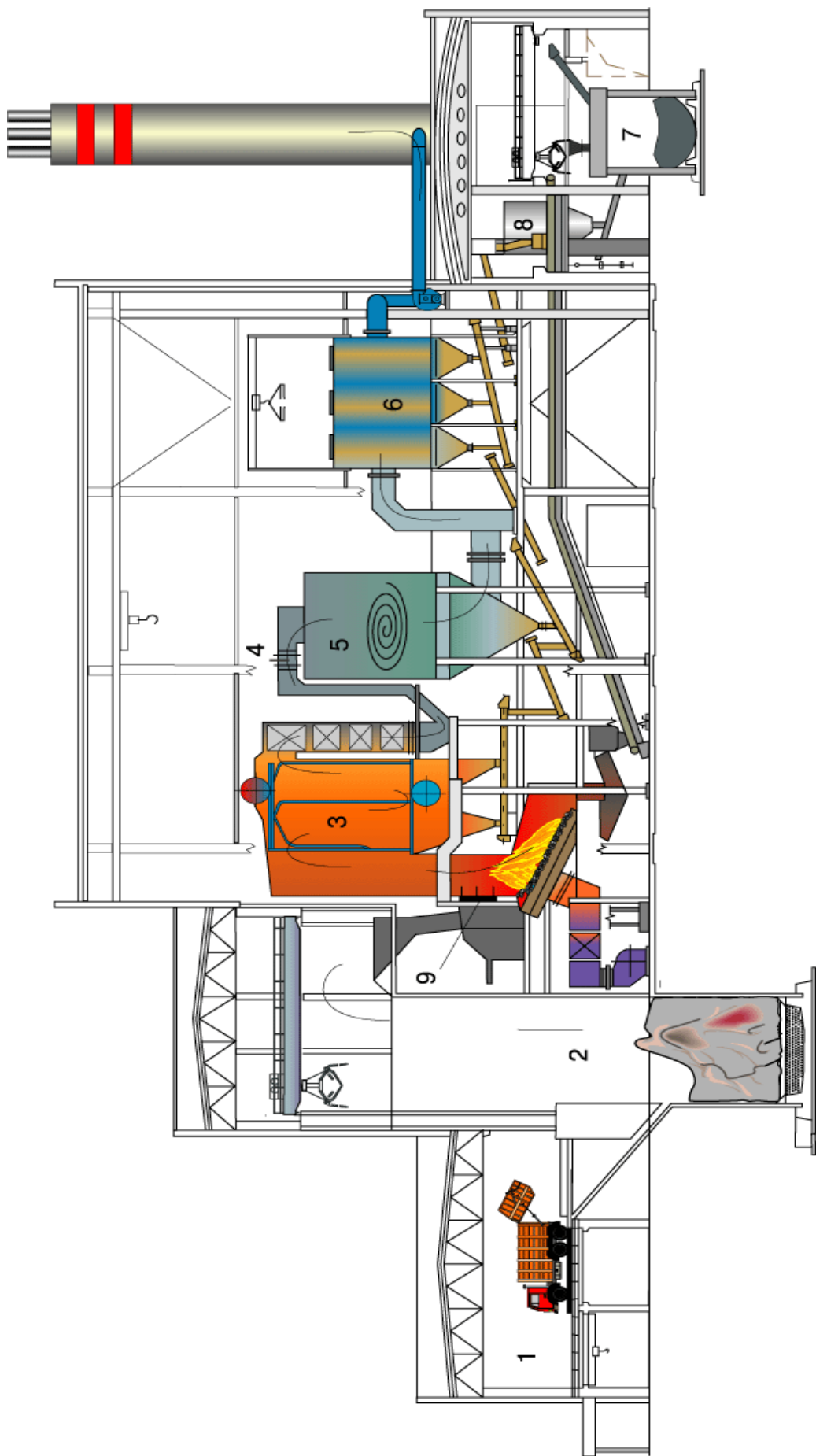


Рис. 4.6 – Технологічна схема сміттєспалювального заводу [67]:

1 – приймальне відділення транспорту; 2 – прийомний бункер; 3 – топка; 4 – газохід; 5 – циклонний пиловловлювач; 6 – електрофільтр; 7 – бункер прийому відходів після подрібнювання; 8 – дроблення відходів; 9 – завантаження відходів у топку.

Ґрати для спалювання різняться по способу переміщення твердих відходів і бувають із нерухливим шаром (нерухливі ґрати), із шаром, що безупинно рухається (ланцюгові ґрати) і з переривчастим переміщенням шару. Застосовують топки наступних видів: ротаційні, які придатні для спалювання твердих та рідких відходів; ярусні – топки циліндричної форми, розділені на ряд ярусів, що завантажуються зверху; топки "киплячого" шару.

Будь-яка топка повинна бути оснащена пристроєм для стабілізації горіння. Це досягається спалюванням стабілізаційного палива для прогріву топки, запалення відходів, компенсації недостатньої теплоти спалювання відходів. Для цього оптимальне застосування газоподібного палива (природного газу або пропан-бутанової суміші), оскільки газ менше інших палив забруднює атмосферу та дозволяє легко регулювати процес спалювання.

Температура в топці повинна бути в інтервалі 800...1000 °С. Нижня границя визначається необхідністю найбільш повного спалювання відходів, а верхня – температурою плавлення шлаків (850...1450 °С). При подальшому підвищенні температури відбувається плавлення шлаків і забруднення колосникових ґрат.

Масова утилізація твердих промислових та побутових відходів екологічно небезпечна через утворення твердих, рідких і газоподібних токсичних і канцерогенних речовин.

Наприклад, при спалюванні 1 т ТПВ на заводах по спалюванню сміття (ЗСС) утворюється від 4...8 тис. м<sup>3</sup> димових газів, що містять азоту та сірки оксиди, HCl, поліароматичні вуглеводні, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>Cl, ртуті, вісмуту, свинцю, кадмію, міді сполуки та ін. Крім того, залишається від 25...40 % золи та пилу, близько 25 % забруднених стічних вод, що містять ті ж токсичні речовини [38].

### ***Вплив ССЗ на навколишнє середовище та людину***

Дослідження впливу ССЗ на навколишнє середовище та людину показали, що як раніше побудовані, так і нові, більш сучасні ССЗ вносять істотний вклад у забруднення ґрунтів "важкими металами" та діоксинами з наступним їх впливом на вегетацію рослин незважаючи на жорсткі норми до ССЗ у ЄС[40].

В табл. 4.12 наводяться значення припустимих викидів в повітря від ССЗ, визначені у відповідності з директивою ЄС 94/67 про спалювання відходів.

У деяких європейських країнах (Німеччина, Швеція, Швейцарія) молоко корів з ферм, розташованих у безпосередній близькості від ССЗ, відрізнялося підвищеним вмістом діоксинів, причому в ряді випадків перевищувало усі припустимі норми.

Населення також підпадає під вплив ССЗ, вдихаючи повітря, що містить викиди ССЗ, і споживаючи продукти харчування, отримані із забруднених територій. Підвищений вміст діоксинів було виявлено в тканинах людей, що проживають у безпосередній близькості від ССЗ – у Великобританії, Іспанії і Японії. У дітей з районів сучасних ССЗ в Іспанії в сечі виявлені підвищені рівні тіоєфірів (сульфур-органічних сполук) – біоіндикаторів отруєння організму.

Підвищені рівні деяких поліхлорбензолів (ПХБ) виявлені в крові дітей, що проживають поблизу ССЗ у Німеччині.

Таблиця 4.12

Припустима межа емісій у повітря від сміттєспалювальних заводів [24]

Параметр	Припустиме значення, мг/м <sup>3</sup>
Карбону оксид	50
Пил	10
Загальний органічний карбон	10
Хлористий водень	10
Фтористий водень	1
Сульфуру (IV) оксид	50
Кадмій та його сполуки	0,05
Талій та його сполуки	0,05
Ртуть та її сполуки	0,05
Сурма та її сполуки	0,5
Миш'як та його сполуки	
Свинець та його сполуки	
Хром та його сполуки	
Кобальт та його сполуки	
Мідь та її сполуки	
Марганець та його сполуки	
Нікель та його сполуки	
Ванадій та його сполуки	
Олово та його сполуки	
Діоксини	0,1 нг/м <sup>3</sup>

Таблиця 4.13

Результати досліджень серед працівників ССЗ [40, 68]

Ознаки впливу на людину	Коментарі
<i>Біоіндикатор</i>	
Підвищений вміст мутагенів у сечі	У газах, що відходять, летучій золі й шлаках ССЗ утримуються мутагенні речовини, здатні змінювати побудову ДНК. Підвищений вміст мутагенів у сечі було виявлено у робітників ССЗ.
Підвищений вміст гідроксіпіренів у сечі	Гідроксіпірени свідчать про потрапляння в організм поліароматичних вуглеводнів
Підвищений вміст тіоефірів у сечі	Тіоефіри свідчать про потрапляння в організм поліароматичних вуглеводнів та інших електрофільних речовин

<i>Онкологічні захворювання</i>	
Збільшення в 3,5 рази смертності від раку легенів	Цифри приводяться за даними про смертність серед працівників ССЗ із 1920 по 1985 р. у Швеції
Збільшення в 1,5 рази смертності від раку стравоходу	Цифри приводяться за даними про смертність серед працівників ССЗ з 1920 по 1985 р. у Швеції.
Збільшення в 2,8 рази смертності від раку шлунка	Цифри приводяться за даними про смертність серед працівників ССЗ із 1962 по 1992 р. у Швеції.
<i>Інше</i>	
Збільшення смертності від ішемічної хвороби серця	Аналіз даних про смертність серед працівників ССЗ із 1920 по 1985 р. у Швеції. Статистика приводиться для працівників сміттєспалювальних заводів старше 40 років.
Гіперліпідемія (збільшений зміст жирів у крові). Зниження функціональної активності печінки. Ріст кількості алергічних захворювань.	Аналіз даних обстежень працівників ССЗ із 1988 по 1997 рр. у Японії. Спостерігалися серйозні зміни в клітинах імунної системи.
Підвищений вміст білка в сечі, гіпертонія. Можливі порушення дихальних шляхів (непідтверджена діагностика). Аномальний склад крові	Аналіз даних обстежень працівників ССЗ у США показав підвищений вміст білка в сечі в більшості обстежених.
Хлоракне (захворювання шкіри, зв'язане винятково із впливом діоксинів )	У працівників старих ССЗ у Японії захворювання пов'язане з підвищеним вмістом діоксинів у крові.

Ряд досліджень показали підвищені рівні змісту діоксинів та їх похідних, а також хлорфенолів, свинцю, миш'яку та ртуті в організмі працівників як старих, так і нових ССЗ. Інші дослідження, проведені з використанням ультрасучасних методів, виявили зв'язок між роботою самих ССЗ і численними захворюваннями, що виникають у місцевих жителів і працівників цих виробництв. Результати досліджень приводять до висновку про небезпеку функціонування ССЗ у зв'язку з їхнім шкідливим впливом на здоров'я людини.

Таблиця 4.14

*Результати досліджень серед населення, що проживає поблизу ССЗ [27, 40, 68]*

Ознаки впливу на людину	Коментарі
<i>Біоіндикатор</i>	
Підвищений вміст тіоефірів у сечі дітей	У сечі дітей, що живуть поблизу ССЗ в Іспанії, виявлені підвищені рівні змісту тіоефірів.

<i>Онкологічні захворювання</i>	
Збільшення на 44% кількості випадків саркоми м'яких тканин і на 27% кількості випадків лімфоми	Збільшення кількості випадків цих захворювань можливо у зв'язку з підвищеним рівнем діоксинів у навколишньому середовищі. Спостерігалось в людей, що проживають поруч із ССЗ у Франції.
Збільшення в 6,7 раз імовірності смерті від раку легенів	Дані приводяться за результатами досліджень міських жителів Італії, що проживають у безпосередній близькості від ССЗ.
Збільшення випадків виникнення раку гортані	Виявлено на околицях одного з десяти обстежених ССЗ у Великобританії. В Італії аналогічне збільшення випадків виникнення раку гортані виявлене в людей, які проживають у безпосередній близькості від полігонів поховання відходів сміттєспалювальних, нафтопереробних заводів.
Збільшення на 37% смертності від раку печінки	Цифри засновано на обстеженні 14 млн. чоловік, що проживають у межах 7,5 км від 72 ССЗ у Великобританії.
Збільшення в 2 рази ймовірності смертності дітей від ракових захворювань	Дані отримані в результаті досліджень, проведених у Великобританії на 70 заводах по спалюванню побутових відходів і на 307 заводах по спалюванню медичних відходів.
<i>Респіраторні захворювання</i>	
Збільшення симптомів респіраторних захворювань, у тому числі збільшення кількості випадків звернення до медичних установ з легеневиими захворюваннями, задишкою бронхітом, кашлем, що не припиняється.	Обстеження 58 американців, що проживають поблизу цементної печі, призначеної для спалювання небезпечних відходів виявило значне збільшення симптомів респіраторних захворювань.
<i>Уроджені аномалії</i>	
Збільшення народжень дітей з вовчою пащею й генітальними дефектами.	Значне збільшення випадків народження дітей з вовчою пащею було зафіксовано в 1960-69 рр. на околицях місць спалювання хімічних речовин.
Збільшення в 1,26 рази ймовірності виникнення вроджених каліцтв.	Дослідження проводилися серед населення, що проживає поблизу 2 ССЗ у Бельгії.



Збільшення кількості дітей з уродженою косоокістю.	Дана залежність спостерігалася серед дітей, народжених у районі розташування 2 ССЗ у Шотландії.
<i>Інше</i>	
Зниження рівня тироїдних гормонів (гормонів, вироблених щитовидною залозою) у дітей	За результатами обстеження дітей, що проживають поблизу ССЗ у Німеччині.
Збільшення кількості алергійних реакцій, простудних захворювань, скарг на загальний стан здоров'я, збільшення споживання медичних препаратів серед школярів	Такі дані отримані в результаті дослідження, проведеного в школах близько 2 ССЗ у Бельгії.

Самими небезпечними речовинами, що утворюються в процесі спалювання ТПВ, є з'єднання групи **діоксинів**.

#### 4.3.1.3 Утворення діоксинів при спалюванні ТПВ на заводах по спалюванню сміття

Дослідження даних речовин ведуться давно [40, 68], однак у процесах переробки та утилізації ТПВ вони почалися тільки з 1978 р., коли була доведена наявність діоксинів у викидах ССЗ. Такі дослідження здійснюються нашим часом, тому що жодна з відомих технологій термічної переробки ТПВ не виключає утворення діоксинів [32, 38–40]. У зв'язку зі збільшенням числа підприємств з утилізації ТПВ методом спалювання частка викидів діоксинів від сміттєспалювання виходить на перше місце [40, 49, 51, 65, 69].

Однак історію виникнення цієї сполуки мало відомо. Розглянемо це питання більш детально.

Історія людства знає багато випадків появи в біосфері великих кількостей потенційно небезпечних речовин. Вплив цих чужорідних з'єднань (ксенобіотиків) на живі організми іноді було причиною трагічних наслідків, прикладом яких може служити історія з інсектицидом ДДТ. Ще більшу сумну популярність придбав **діоксин, який** з'явився в навколишньому середовищі ряду країн Заходу в 60–ті рр. ХХ ст., а також у Південному В'єтнамі **під час** хімічної війни, яку вели США в період з 1961 по 1972 р.

Діоксином в органічній хімії називають шестичленний гетероцикл, а якому два **атоми кисню зв'язано** двома подвійними вуглець–вуглецевими зв'язками.

У токсикології під терміном діоксин розуміють похідне цього з'єднання, а саме 2,3,7,8 дібензо–пара–діоксин, який є представником великої групи

надзвичайно небезпечних ксенобіотиків із числа поліхлорованих поліциклічних з'єднань.

**Діоксин** – одна із самих підступних отрут, відомих людству. На відміну від звичайних отрут, токсичність яких пов'язана із придушенням ними певних функцій організму, **діоксин** і подібні йому ксенобіотики вражають організм завдяки здатності сильно підвищувати активність ряду окисних залізовмісних ферментів (монооксигеназ), що приводить до порушення обміну багатьох життєво важливих речовин і придушенню функцій ряду систем організму.

**Такі з'єднання здатні тривалий час існувати в організмі.**

Таблиця 4.15

*Токсичність діоксину й деяких отрут*

Речовина	Мінімальна летальна доза, мкмоль/кг	Тварина
Ботулінічний токсин	$3,3 \cdot 10^{-17}$	миша
Дифтерійний токсин	$4,2 \cdot 10^{-12}$	миша
Діоксин	$3,1 \cdot 10^{-9}$	морська свинка
Кураре	$7,2 \cdot 10^{-7}$	миша
Стрихнін	$1,5 \cdot 10^{-6}$	миша
Динзопропілфторфосфат	$1,6 \cdot 10^{-5}$	миша
Ціанід натрію	$3,1 \cdot 10^{-4}$	миша

Тому вже невеликі кількості **діоксину** створюють небезпеку поразки живих організмів наявними в природі звичайно нешкідливими ксенобіотиками.

Навіть із наведеного швидкого опису очевидно, як важлива й складна проблема захисту від цього небезпечного ксенобіотика. Тому в США, де в навколишнє середовище внесена значна кількість діоксину, на вивчення цієї проблеми тільки федеральним урядом виділяється щорічно 5 млн. дол.

З 1971 р. проблема діоксину та родинних йому з'єднань регулярно обговорюється в США на спеціальних конференціях, які останнім часом проводяться щорічно як міжнародні форуми вчених зацікавлених країн<sup>1</sup>.

Увага до цієї проблеми знайшло відбиття у науковій літературі про діоксин, частково узагальненої в збірниках:

За останні 10...12 років широко розглянуті наукові аспекти цієї проблеми. Усе, що вдалося вивчити про діоксин, свідчить про надзвичайну небезпеку цієї речовини для людини, особливо в умовах хронічного отруєння, і дозволяє сформулювати основні завдання, що встали перед людством у зв'язку з появою цього ксенобіотика в природі.

Разом з тим проблемі діоксину присутні ще й соціальні, політичні та військові аспекти. Саме тому в деяких країнах Заходу, і особливо в США, свідомо намагаються затушувати окремі сторони проблеми, не надаючи розголосу відомості, що розкривають небезпеку цієї отрути для людства,

<sup>1</sup> Dioxin: toxicological and chemical aspects. N.Y.– Ln, 1978, v. 1; Dioxins. Sources, exposure, transport and control. Ohio, 1980, v. 1,2.

використовуючи результати некоректних досвідів для виробітку суджень про діоксин і таке інше<sup>2</sup>.

Історія діоксину тісно пов'язана із проблемами вигідної асиміляції поліхлорованих бензолів, що є відходами ряду великотоннажних хімічних виробництв. На початку 30-х рр. ХХ століття фірмою "Daw Chemical" (США) був розроблений спосіб одержання поліхлорфенолів з поліхлорбензолів лужним гідролізом при високій температурі під тиском. Показане, що ці препарати, що одержали назву дауцидів, є ефективними засобами для консервації деревини.

Уже в 1936 р. з'явилися повідомлення про масові захворювання серед робітників шт. Міссісіпі, зайнятих консервацією деревини за допомогою цих агентів. Більшість із них страждали важким шкірним захворюванням – хлоракне, що спостерігалися раніше серед робочих хлорних виробництв. В 1937 р. були описані випадки аналогічних захворювань серед робітників заводу в Мідланді (шт. Мічиган, США), зайнятих у виробництві дауцидів. Розслідування причин поразки в цих і багатьох подібних випадках привело до висновку, що фактор "хлоракне" специфічний тільки для технічних дауцидів, а чисті поліхлорфеноли подібної дії не мають<sup>3</sup>.

Розширення масштабів поразки поліхлорфенолами надалі було обумовлено їхнім використанням у військових цілях. Під час другої світової війни в США були отримані перші гербіцидні препарати гормоноподібної дії на основі 2,4-діхлор- і 2,4,5-трихлорфеноксіускусних кислот (2,4-Д і 2,4,5-Т). Ці препарати розроблялися для поразки рослинності Японії та були прийняті на озброєння армією США незабаром після війни. Одночасно ці кислоти, їх солі та ефіри стали використовуватися для хімічної прополки бур'янів у посівах злакових культур, а суміші ефірів 2, 4-Д і 2,4,5-Т – для знищення небажаної деревної та кустарникової рослинності. Це дозволило ВПК США створити великотоннажні виробництва 2,4-діхлор-, 2,4,5-трихлорфенолів, а на їхній основі кислот 2,4-Д і 2,4,5-Т.

На щастя, виробництво та застосування 2, 4-Д не мали негативних наслідків для людства. Напроти, вивчення властивостей 2,4-Д і її похідних з'явилося потужним імпульсом до становлення сучасної хімії гербіцидів. Зовсім по-іншому розвивалися події, пов'язані з розширенням масштабів виробництва й застосування 2,4,5-Т.

Уже в 1949 р. на заводі в г. Нітро (шт. Зах. Виржинія, США), де виробляли 2,4,5-Трихлорфенол, відбувся вибух: 250 людей одержали серйозні поразки. Правда, про цей факт стало відомо лише наприкінці 70-х років, а що стосується наслідків вибуху для місцевого населення та навколишнього середовища, то вони все ще покриті таємницею.

---

<sup>2</sup> Офіційна точка зору США про діоксин знайшла відбиття в наступних роботах: Bovey R.W., Young A. L. The science of 2,4, 5— and associated phenoxyherbicides. N.Y., 1980; Chemical and Engineering News, 1983, v. 61, p. 23; Proc. 2-nd Cont. Educ. Conf. on Herbicide Orange, Washington, 1980.

<sup>3</sup> Результати вивчення токсичності дауцидів наведені в роботі: Adams E.M. et al. – Ind. Med., 1941, в v.10. p.1.

В 50–ті р. XX ст. з'явилися повідомлення про часті поразки технічними 2,4,5–Т і трихлорфенолом на хімічних заводах у ФРН і у Франції, причому наслідку вибухів у Людвігсхафене (1953 р., завод фірми BASF) і Греноблі (1956 р., завод фірми "Ron Poulenc") обговорювалися широко й детально. Численні випадки поразки робітників трихлорфенолом в 50–ті роки мали місце й у США (на заводах фірм "Daw Chemical", "Monsanto", "Chucker", "Diamond" та ін.). Однак ці інциденти до кінця 70–х років не були віддані гласності.

Період з 1961 по 1970 р., коли заводи з виробництва 2,4,5–Т працювали із граничним навантаженням у зв'язку з масовими військовими закупівлями армією США, був особливо насичений подіями, пов'язаними з діоксином. Масові поразки, обумовлені вибухами на заводах, мали місце в США, Італії, Великобританії, Голландії й Франції. Усі ці інциденти (за винятком тих, що відбулися у Франції) не висвітлювалися в пресі до кінця 70–х років. Особливо страшними були наслідки вибуху на заводі фірми "Philips Duffer" в Амстердамі (1963 р.), після якого адміністрація заводу була змушена демонтувати устаткування, виробничі приміщення та затопити їх в океані.

Останнє десятиліття також не обійшлося без численних подій на заводах з виробництва та переробки 2,4,5–трихлорфенолу.

Найбільш страшною була катастрофа в м. Севезо (1976 р., Італія), – у результаті якої постраждали не тільки робітники, але й місцеве населення. Для ліквідації наслідків цього інциденту з великої території довелося видаляти поверхневий шар ґрунту.

Причини поразки робітників, зайнятих у виробництві й переробці 2,4,5–трихлорфенолу, були встановлені в 1957 р. майже одночасно трьома групами вчених<sup>4</sup>. М. Холфман (ФРН) виділив у чистому виді хлоракногенний фактор технічного трихлорфенолу, вивчив його властивості, фізіологічну активність і приписав йому будова тетрахлордібензофурану. Синтезований зразок цього з'єднання дійсно виявляв на тварин таке ж дія, як і технічний трихлорфенол.

У це ж час К. Шульц (ФРН), фахівець в області шкірних захворювань, звернув увагу на те, що симптоматика поразки його клієнта, що працює із хлорованими дібензо-пара-діоксидами, ідентична симптоматиці поразки технічним трихлорфенолом. Проведені ним дослідження показали, що хлоракногенним фактором технічного трихлорфенолу дійсно є 2,3,7,8 дібензо-пара-діоксин – неминучий побічний продукт лужної переробки симетричного тетрахлорбензолу. Пізніше відомості К. Шульца одержали підтвердження в роботах інших учених.

Висока токсичність діоксину була встановлена в 1957 р. і в США. Це відбулося після нещасного випадку з американським хіміком Дж. Дитріхом, який, займаючись синтезом діоксину і його аналогів, одержав сильну поразку, що нагадує поразку технічним трихлорфенолом, і був госпіталізований на

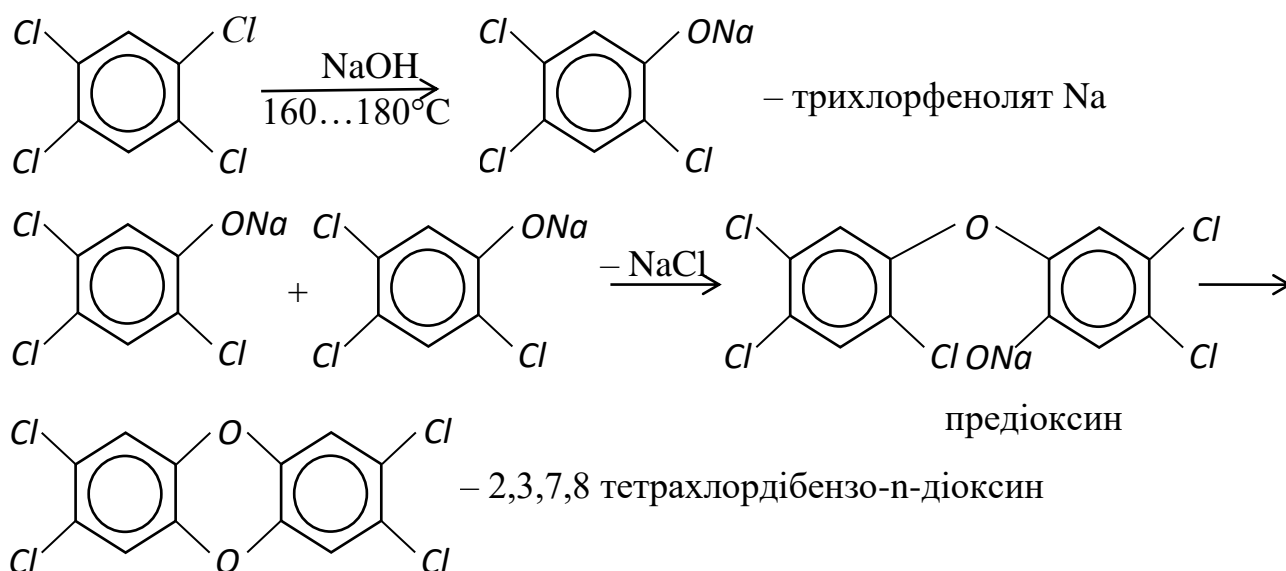
---

<sup>4</sup> Holfman H.T.– Arch. Exp. Pathol., 1957, B. 232, S. 228; Schulz K.H.–Arch. Klin. Exp. Derm., 1957, B. 206, S. 519; Gilman N., Deetrich J.J.– J. Amer. Chem. Soc., 1957, v.79, p.1439; Ibid., 1958, v.80, p.366; J. Org. Chem., 1957. v22, p.1403; Bauer H.J., Schulz K. H., Spiegelberg V.– Arch. Gewerbepath. Gewerbehyd., 1961, B.13, S.538.

тривалий строк. Цей факт, як і багато інших інцидентів на виробництвах трихлорфенолу в США, був схований від громадськості, а синтезовані американським хіміком галогеновані дібензо-пара-діоксини вилучені для вивчення військовим відомством.

Таким чином, лише наприкінці 50-х років була виявлена причина частих поразок технічним трихлорфенолом і встановлений факт токсичності діоксину й тетрахлордібензофурану. Більше того, в 1961 р. К. Шульц опублікував докладні відомості про надзвичайно високу токсичність діоксину для тварин і показав особливу небезпеку хронічної поразки цією отрутою. Так, через 25 років після появи в природі діоксин перестав бути невідомим "хлоракногенним фактором".

### Схема утворення діоксину при лужному гідролізі тетрахлорбензолу.



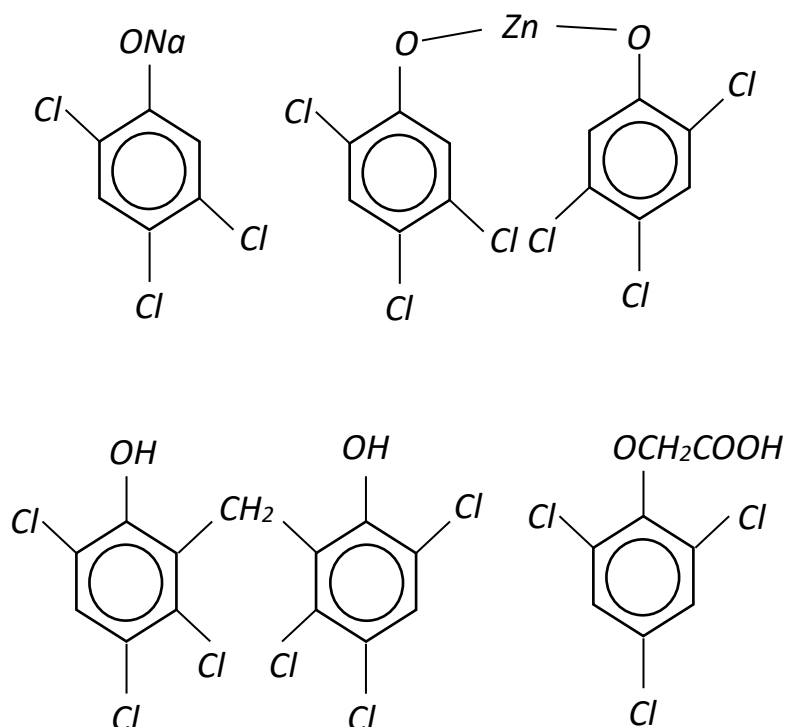
Цю реакцію звичайно проводять у розчині метанолу (CH<sub>3</sub>OH) під тиском при температурі вище 165 °С. Атом трихлорфенолят натрію, що утворюється, завжди частково перетворюється в предіоксин, а потім у діоксин. З підвищенням температури до 210 °С швидкість цієї побічної реакції різко зростає, а в більш жорстких умовах основним продуктом реакції стає діоксин. У цьому випадку процес не контролюємо й у виробничих умовах завершується вибухом.

До цього часу, незважаючи на високу токсичність 2,4,5-трихлорфенол проникнув у багато сфер виробництва. Його натрієва й цинкова солі, а також продукти переробки – гексахлорофен стали широко застосовуватися в якості біоцидних препаратів у техніці, сільському господарстві, текстильній та паперовій промисловості, медицині та ін. На основі цього фенолу виготовувалися інсектициди, препарати для потреб ветеринарії, технічні рідини різного призначення. Однак найбільш широке застосування 2,4,5-трихлорфенол знайшов у виробництві 2,4,5-Т і інших гербіцидів, призначених

не тільки для мирних, але й для військових цілей. У результаті до 1960 р. виробництво трихлорфенолу досягло значного рівня – багатьох тисяч тонн у рік.

Після публікації робіт К. Шульца можна було очікувати, що заводи з виробництва трихлорфенолу будуть закриті або будуть розроблені нові технологічні схеми одержання цього продукту, що не допускають накопичення в ньому настільки сильної отрути. Однак цього не тільки не відбулося, але й, всупереч здоровому глузду, подальші публікації про фізіологічну активність і шляхи утворення діоксину та тетрахлордібензофурану просто припинилися. Одночасно майже перестали надходити повідомлення про випадки поразки людей трихлорфенолом та його похідними, хоча саме в цей період, як стало відомо пізніше, вони були найбільш частими.

#### Трихлорфеноляти натрію та цинку



У той же час виробництво трихлорфенолу та продуктів його переробки по старій технологічній схемі 50-х років у країнах Заходу, і особливо в США, суттєво розширилося, зберігся високий рівень споживання цієї небезпечної продукції й безупинно зростав її експорт.

Біоцидні, інсектицидні та гербіцидні препарати на основі 2,4,5-трихлорфенолу потрапили в багато країн Американського континенту, у деякі країни Африки й Південно-Східної Азії, в Австралію та Океанію. Разом з ними в ґрунти й акваторії, міста та селища великих районів миру безупинно вносився діоксин. Особливо великі його кількості надходили зі стічними водами в навколишнє середовище районів, де розміщалися заводи, що виробляли трихлорфенол. Результати цієї діяльності не сповільнили позначитися:

наприкінці 60-х – початку 70-х років у США були зареєстровані численні випадки масової поразки домашніх птахів та навіть потомства диких тварин.

Пізніше було показано, що гербіциди типу 2,4,5-Т, що надходили в 60-ті роки на внутрішній і зовнішній ринки США, містили діоксин у концентрації від 1 до 100 частин на млн. (ppm)<sup>5</sup>, тобто в кількостях, які перевищують припустимі в десятки, сотні й навіть тисячі раз. Якщо вважати, що використовувані в мирних цілях продукти переробки трихлорфенолу містили всього лише 10 ppm діоксину, то й у цьому випадку за десятиліття, що пройшло після встановлення причин токсичності цієї продукції, у навколишнє середовище США разом з багатьма тисячами тонн пестицидів внесено сотні кілограмів цієї отрути. Близька до цієї кількості діоксину з'явилася на території країн, що імпортували цю продукцію із США.

Особливо великою виявилася військова програма США по використанню продуктів переробки трихлорфенолу. До 60-х років військове відомство США завершило розробку широкого плану вивчення гербіцидів, як потенційної зброї екологічної війни, яку передбачалося здійснити на території Індокитаю під кодовою назвою "Операція Ranch Hand"<sup>6</sup>. Більше того, до цього часу вже були відібрані гербіцидні рецептури, розроблені методи та засоби їх застосування, проведені широкі випробування в умовах тропічної зони, що моделюють Індокитай. У період випробувань основна увага військових фахівців приділялася гербіцидним рецептурам, що містять ефіри 2,4,5-Т.

Особливо вражають масштаби пропаганди, що проводилася в США щодо цього виду зброї масового ураження. Для нього була обрана невинна назва "дефоліанти", іншими словами, засоби, що викликають опадання листів рослин. Однак, в армії США на озброєнні були винятково гербіцидні рецептури, призначені для повного знищення рослин.

Таким чином, 57 тис. т рецептур на основі 2,4,5-Т, застосування яких у В'єтнамі офіційно зізнається Сполученими Штатами Америки, принесли на порівняно невелику територію Індокитаю більш 500 кг діоксину. Велика небезпека того, що для одержання реальної картини цю кількість слід, принаймні, подвоїти.

Оцінюючи ступінь забруднення навколишнього середовища діоксином, необхідно також урахувувати можливість його вторинного утворення після застосування похідних трихлорфенолу.

Зараз показане однозначне термічне перетворення в діоксин предіоксину, який звичайно присутній в технічних препаратах на основі трихлорфенолу. Високий вихід діоксину при термолізі інших нелетючих похідних трихлорфенолу, у тому числі й 2,4,5-Т. Наведені в літературі негативні результати були зв'язані або з використанням летючих попередників діоксину, або з наявністю умов їх ефективного видалення зі сфери реакції.

Оскільки в різних об'єктах навколишнього середовища трихлорфенол і ефіри 2,4,5-Т швидко перетворюються в нелетучі похідні, то різні матеріали,

---

<sup>5</sup> 1 ppm = 1 мг/кг

<sup>6</sup> Buckingham W.A. Operation Ranch Hand. Washington, 1982.

консервовані біоцидами, залишки рослин, уражених гербіцидами типу 2,4,5–Т при спалюванні стають джерелами виділення додаткових кількостей діоксину.

Особливо високою треба вважати ймовірність вторинного утворення діоксину в умовах хімічної війни, яка проводилася у В'єтнамі. Тут за період воєнних дій було спалено більш 500 тис. т напалму, в тому числі на великих територіях уражених лісів, висаджене більш 13 млн. т авіабомб, снарядів і мін. Тому в навколишнє середовище В'єтнаму діоксин потрапив у значно більших кількостях, чим його містилося в багатьох десятках тисяч тон гербіцидів, застосованих армією США.

Щоб уявити собі, з якими наслідками зв'язане нагромадження діоксину в навколишньому середовищі, ми більш докладно познайомимося із властивостями цієї небезпечної отрути.

**Побудова, фізичні та хімічні властивості.** Молекула діоксину плоска та відрізняється високою симетрією. Розподіл електронної щільності в ній такий, що максимум перебуває в зоні атомів оксигену та хлору, а мінімум у центрах бензольних кілець. Ці особливості будови та електронного стану й обумовлюють спостережувані екстремальні властивості молекули діоксину.

**Діоксин** – кристалічна речовина з високою температурою плавлення (305 °С) низкою летючістю. Він погано розчиняється у воді ( $2 \cdot 10^{-8}$  % при 25 °С) і краще – в органічних розчинниках. Він відрізняється високою термічною стабільністю: його розкладання відзначається лише при нагріванні вище 750 °С, а ефективно здійснюється при температурах більше 1200 °С.

**Діоксин** – хімічно інертна речовина. Кислотами та лугами він не розкладається навіть при кип'ятінні. У характерні для ароматичних з'єднань реакції хлорування та сульфювання він вступає тільки в дуже жорстких умовах і в присутності каталізаторів. Заміщення атомів хлору молекули діоксину на інші атоми або групи атомів здійснюється лише в умовах вільнорадикальних реакцій. Деякі із цих перетворень, наприклад взаємодія з натрій–нафталіном і відновне дехлорування при ультрафіолетовому опроміненні, використовуються для знищення невеликих кількостей діоксину. При окисненні в безводних умовах діоксин легко віддає електрон і перетворюється в стабільний катіон-радикал, який, однак, легко відновлюється водою в діоксин з виділенням дуже активного катіон-радикала  $\text{HO}^+$ . Характерною для діоксину є його здатність до утворення міцних комплексів з багатьма природними й синтетичними поліциклічними сполуками.

**Токсичні властивості.** Діоксин – тотальна отрута, оскільки навіть у малих дозах (концентраціях) він вражає практично всі форми живої матерії – від бактерій до теплокровних. Токсичність діоксину у випадку найпростіших організмів обумовлена, очевидно, порушенням функцій металоферментів, з якими він утворює міцні комплекси. Значно складніше відбувається поразка діоксином вищих організмів, особливо теплокровних.

В організмі теплокровних діоксин спочатку попадає в жирові тканини, а потім перерозподіляється, накопичуючись переважно в печінці, потім у тимусі та інших органах. Його руйнування в організмі незначно: він виводиться в основному незмінним, у вигляді комплексів невстановленої поки природи.



Період напіввиведення коливається від декількох десятків днів (у миша) до року й більш (у приматів) і звичайно зростає при повільному вступі в організм. З підвищенням утримування в організмі та вибіркового нагромадження в печінці чутливість до діоксину зростає.

При гострому отруєнні тварин спостерігаються ознаки загальнотоксичної дії діоксину: втрата апетиту, фізична й полова слабкість, хронічна втома, депресія й катастрофічна втрата ваги. До летального результату він приводить через кілька днів і навіть через кілька десятків днів, залежно від дози отрути та швидкості його потрапляння в організм.

У нелетальних дозах діоксин викликає важкі специфічні захворювання. У високочутливих особин спочатку з'являється захворювання шкіри – хлоракне сальних залоз, що супроводжується дерматитами та утворенням виразок, які довго не загоюються. Причому в людей хлоракне може проявлятися знову й знову навіть через роки після лікування. Більш сильна поразка діоксином приводить до порушення обміну порфіринів – важливих попередників гемоглобіну й простетичних залізовмісних ферментів (цитохромів). Порфірія – проявляється в підвищеній фоточутливості шкіри: вона стає покривається численними мікропухирцями. При хронічному отруєнні діоксином проявляються також різні захворювання, пов'язані з поразками імунних систем і центральної нервової системи.

Усі ці захворювання проявляються на тлі різкої активації діоксином (у десятки й сотні раз) важливого залізовмісного ферменту – цитохрому P-448. Особливо сильно активується цей фермент у плаценті та у плоді. У зв'язку з цим діоксин, навіть у незначних кількостях, пригнічує життєздатність, порушує процеси формування й нового організму, іншими словами, виявляє ембріотоксичну та тератогенну дію. У незначних концентраціях діоксин викликає генетичні зміни і підвищує частоту виникнення пухлин, тобто має й канцерогенну дію.

Деякі з діоксинів близькі до отруйних речовин типу зарину, заману та табуноу. Однак їх небезпека полягає не в отруйності як такої, а в здатності викликати аномалії в роботі генетичного апарата організму. При цьому розрізняють *первинні й вторинні ефекти* впливу на організм.

*Первинний ефект* зв'язують із високою спорідненістю та специфічністю стосовно цитозольного Ah-рецептору, що контролює активацію генів A1 і A2 на 15-й хромосомі людини, нагромадженню неспецифічних ферментів (монооксидаз), відомих як P-4501A1 та P-4501A2[40, 70].

Комплекс 2,3,7,8-ТХДД з рецептором може брати участь у придушенні гена на 16-й хромосомі людини, який генерує інший фермент: монодіоксиредуктазу. Діоксини проявляють спорідненість до тіроксिनного рецептору в ядрі клітки, що приводить до його нагромадження в ядрі. Тобто дія діоксинів спрямована на відібрані в ході еволюції регуляторні механізми живої клітки, що запускаються рецепторними білками з однотипним активним центром.

Потрапляючи в організм, діоксини виступають як індуктори тривалих неправильних біологічних відповідей, сприяючи нагромадженню ряду

біокатализаторів–гемопротеїдів у кількостях, небезпечних для функціонування клітки та всього організму. У підсумку, порушуються регуляторні механізми адаптації до зовнішнього середовища. Тому навіть слабка поразка діоксинами, що проявляється в постійній дискомфорності організму, високої стомлюваності, зниженні фізичної та розумової працездатності, у підвищенні чутливості до біологічних інфекцій, може привести до драматичних наслідків.

*Вторинні ефекти* діоксинів пов'язані з тим, що біокатализатори – гемопротеїди в комплексі з діоксинами включають механізм витрати енергетичних ресурсів клітки на перетворення  $O_2$ ,  $O_2^*$ ,  $H_2O_2$ ,  $OH^-$ . Це призводить до біологічної деградації гормонів, вітамінів, ліпідів, руйнуванню біомембран. Особливо чутливі до подібних впливів імунні клітки. Вторинні ефекти збільшують первинні, що приводить до зниження імунітету, та в остаточному підсумку, викликає так звані екологічні захворювання людини й тварин.

Орієнтовна доза припустимого вступу діоксинів в організм людини в Росії становить 10 нг/кг ( $10^{-8}$  г/кг). В основному діоксини надходять в організм людини з харчовими продуктами, насамперед з м'ясом і молоком і головним джерелом – тваринними жирами. Підраховане, що в середньому житель Німеччини щодня поглинає 79 пг діоксинів, США – 119 пг, Канади – 92 пг (1 пикограмм рівний  $10^{-12}$  г).

Таблиця 4.16

*Токсичність діоксину при одноразовому введенні*

Вид	ЛД <sub>50</sub> , мг/кг
Морська свинка	0,001
Пацюк	0,050
Миша	0,112
Кішка	0,115
Собака	0,3
Курка	0,5
Курячий ембріон	0,0005
Гупі	0,1 ppm**
Escherichia coli	2...4 ppm**
Salmonella tiphimurium	2...3 ppm**

ЛД<sub>50</sub> – позначення, прийняте в токсикології для дози, що викликає 50 % летальних исходів.

\*\* Летальна концентрація.

*Міграція в навколишньому середовищі.* У біосфері діоксин швидко поглинається рослинами, сорбується ґрунтом і різними матеріалами, де практично не змінюється під впливом фізичних, хімічних і біологічних факторів середовища. Завдяки здатності до утворення комплексів, він міцно зв'язується з органічними речовинами ґрунту, поглинається залишками загиблих ґрунтових мікроорганізмів і в омертвілими частинами рослин. Період

напіврозпаду діоксину в природі перевищує 10 років. Таким чином, різні об'єкти навколишнього середовища є надійними сховищами цієї отрути.

Подальші шляхи міграції діоксину в навколишньому середовищі визначаються властивостями об'єктів, з якими він зв'язується. Його вертикальна та горизонтальна міграції в ґрунтах можливі тільки для ряду тропічних районів, де в ґрунтах переважають водорозчинні речовини. У ґрунтах інших типів, що містять нерозчинні у воді органічні речовини, він міцно зв'язується у верхніх шарах і поступово накопичується в залишках загиблих організмів.

Із ґрунтів діоксин виводиться переважно механічним шляхом. Комплекси діоксину відрізняються низькою щільністю. Залишки загиблих організмів, що містять його, видуються з поверхні ґрунту вітром, вимиваються дощовими потоками. У підсумку, вони спрямовуються в низовині й акваторії, створюючи нові вогнища зараження (місця скупчення дощової води, озера, донні відкладання прибережної зони морів і океанів).

Проведені недавно аналізи ґрунтів деяких районів Південного В'єтнаму вказують на невеликий зміст діоксину в поверхневих шарах і на його появу в концентраціях до 30 частин на трильйон (30 ppt) у глибинних частинах ґрунту. Це про те, що фізичний і механічний перенос в умовах тропіків сприяє ефективному розсіюванню отрути в природі. Однак це не єдиний шлях міграції діоксину в біосфері. Існує ще перенос цієї отрути по ланцюгах живлення, який сприяє його постійному нагромадженню в районах максимального споживання заражених їм продуктів живлення, тобто концентруванню в густонаселених районах.

На думку в'єтнамського вченого та хірурга професора Тон Тхат Тунга, ефективний перенос діоксину в природі сприяє постійному його нагромадженню теплокровними, причому ступінь нагромадження діоксину теплокровними зростає зі збільшенням змісту отрути в навколишньому середовищі. Цей висновок з'явився результатом вивчення наслідків минулої хімічної війни для великих контингентів десятимільйонного населення В'єтнаму, що проживали та (або) проживають у районах застосування так званих *"нешкідливих для людини й навколишнього середовища"* гербіцидів військового призначення.

Ще в 1970 р. на міжнародній конференції в Орсе (Франція) в'єтнамські вчені повідомили про відзначені ними зв'язки між поразками людей гербіцидними рецептурами армії США та хромосомними абераціями, захворюваністю первинним раком печінки, уродженими каліцтвами і аномаліями вагітностей<sup>7</sup>.

Вони пояснили це мутагенною, канцерогенною і тератогенною дією гербіцидів, які застосовували у хімічній війні у В'єтнамі, на людей. До цього часу в досвідах на тваринах уже було продемонстровано тератогенну дію 2,4,5-Т і встановлене, що її причиною є присутній у гербіциді діоксин. Незважаючи на це, повідомлення учених було зустрінуте з недовірою. Більше того, саме

---

<sup>7</sup> В'єтнам: хімічна війна. – Ханой, 1972.

після цих подій офіційні кола США почали інтенсивно формувати версію про нешкідливість діоксину.

У січні 1983 р. у Хошіміну, В'єтнамі відбувся міжнародний симпозиум, присвячений віддаленим наслідкам хімічної війни США у В'єтнамі. У заключних документах цього симпозиуму відзначено, що флора, фауна й ґрунт багатьох районів Південного В'єтнаму перетерпіли значні зміни. Більшу частину тропічних лісів війна перетворила в савани, території яких у деяких районах і зараз розширюються. Багато прибережних мангрових лісів повністю знищені, їх спонтанне відновлення зажадає багатьох сотень років. Загублена родючість на більших масивах орних земель.

У заключному документі симпозиуму вперше констатоване, що діоксин виявляє мутагенну, тератогенну та канцерогенну дію на тварин. Особливо відзначені також в'єтнамські дані, що показали наявність подібних ефектів в уражених під час війни людей. Підкреслене, що аномалії, придбані ураженими людьми, можуть передаватися в спадщину. Наслідки поразки пов'язані із хромосомними абераціями й викликають уроджені аномалії в дітей, пухирцевий замет і хоріонепітеліому в жінок, а придбані аномалії можуть виявитися навіть через багато років після поразки. При цьому в документі сказано, що найбільш сильні наслідки на населення виявило застосування під час війни рецептури "orange agent", що містить діоксин, високотоксичний і стабільний у навколишньому середовищі.

Як показали дослідження в'єтнамських учених, відзначені наслідки хімічної війни у всіх випадках були пов'язані із застосуванням "orange agent". Найбільше вони проявляються та зустрічаються серед контингентів населення, що проживають у сильно уражених районах. Ці дані однозначно вказують на причини поразки і є попередженням людству про ті жахи, до яких веде нагромадження діоксину в природі.

Кардинальний розв'язок проблеми діоксину та його близьких до нього сполук може бути досягнуте лише згортанням усіх хімічних виробництв, пов'язаних з утворенням цих ксенобіотиків. Навмисне використання речовин, забруднених діоксином неприпустимо, навіть якщо мова йде про масоване застосування хімічних речовин у мирних цілях.

**Зараз відомо, що діоксин утворюється при піролізі поліхлорвінілу, при спалюванні сміття в печах МСЗ, при піролітичному розкладанні будь-яких органічних речовин у присутності джерел хлору. Фінськими дослідниками показано, що діоксин утворюється в місцях лісових пожеж, де ліса були раніше оброблені гербіцидами.**

Усе це другорядні джерела вступу діоксину в природу, однак, їхня безліч насторожує й вимагає впровадження тотального контролю над будь-якими високотемпературними процесами, де присутні з'єднання вуглецю й хлору.

У світовій практиці накопичений певний досвід у вирішенні проблеми діоксинів. Найбільш істотний внесок зроблено в Німеччині, де до 1994 р. працювало 50 ССЗ [37]. Навіть при наявних жорстких нормативах на викиди діоксинів та найбільш сучасних технологіях їх уловлювання при спалюванні

сміття в Німеччині викидається близько 4 кг/рік діоксинів. Біологічну небезпеку цих речовин відображають існуючі законодавчі нормативи.

Так, максимально припустима концентрація діоксинів (у діоксиновому еквіваленті) в атмосферному повітрі населених місць становить 0,02 пг/м<sup>3</sup>, а в харчових продуктах 0,001 пг/г. У країнах ЄС в 1994 р., прийнята ГДК діоксинів у газах, що відходять від ССЗ – 0,1 нг/м<sup>3</sup> [39, 40].

Діоксини утворюються як домішки в технологіях виробництва продуктів у хімічній, целюлозо-паперовій, металургійній, нафтопереробній, енергетичній, та ін. галузях. Вони попадають у навколишнє середовище та в організм людини з промислової продукції, вихлопних газів автомобілів, хлорованої води, диму при спалюванні побутового сміття, листя та деревини, оброблених раніше гербіцидами [44, 69]. Неякісне депонування відходів, що містять діоксини, приводило до техногенних катастроф.

Діоксини мають високу термостійкість [44, 69–70]. Ефективне розкладання цих речовин відбувається тільки при температурах вище 1250 °С і витримці більш 2 с. Їх термічний розклад при менших температурах є оборотним процесом [40, 44, 50, 69–70]. При 200...450 °С вони синтезуються знову. Це відбувається в традиційній технології сміттєспалювання, де утворення діоксинів спостерігається також на виході охолодженого газу з котла-утилізатора за рахунок реакцій HCl, Cl<sub>2</sub>, хлорорганічних сполук та ін.) та органічного карбону в присутності каталізаторів (наприклад, міді) [44]. У цьому випадку кількість діоксинів суттєво не залежить від змісту хлору або броду в паливі [44].

З досвіду сміттєспалювання відомо, що емісія діоксинів з димової труби суттєво пов'язана з викидами часток пилу та сажі. На багатьох ССЗ газоочищення засноване на практично повному поглинанні діоксинів з димових газів при пропущенні їх через фільтри з активованим вугіллям або тканинні фільтри, здатні ефективно виділяти золу з газу. Основним заходом для зменшення в цих процесах виділення діоксинів є зменшення викидів органічного карбону, тобто забезпечення повного його спалювання, а також контроль його рівня як основного показника повноти спалювання та залишкової концентрації діоксинів [44, 69–70].

При нагріванні хлор- і бромвмісних органічних речовин (наприклад, полівінілхлориду) діоксини утворюються в інтервалі температур 500...1200 °С, причому максимальна температура їх утворення припадає на 600...800 °С. Процес протікає у дві стадії: спочатку хлорбензоли перетворюються у феноли та діфенілові ефіри, а потім у присутності O<sub>2</sub> – у суміш діоксинів і фуранів [44].

Обсяг утворення діоксинів залежить від вихідної сировини, насамперед від наявності хлор- і бромвмісних компонентів. Із загальної кількості хлору, який є в ТПВ, надходить із пластмасою близько 50 %, із целюлозно-паперовою продукцією до 25 %, а решта з іншими матеріалами [44]. У незначних кількостях у ТПВ присутні бромвмісні та змішані галогеновані гомологи. Істотним джерелом броду в ТПВ є негорюча частина пластмаси, наприклад, електронні мікроприлади. Наявність діоксинів у целюлозно-паперовій продукції пов'язане із процесом відбілювання хлором целюлози.

У промислових відходах (наприклад, шламах вуглебагачувальних фабрик) кількість хлору пов'язана із вмістом хлору в вугіллі. Якщо хлору в вугіллі 0,3...0,7 %, то можна прогнозувати його вміст у вугільному шламі 0,1...0,4 %. При піролізі вугілля хлор практично повністю переходить у газову фазу при нагріванні сировини до 550...600 °С у інертній атмосфері або до 700...900 °С при наявності окисного середовища з утворенням HCl та преддіоксинів і діоксинів [44, 70]. Відомі також хлор-ароматичні, хлор-олефінові, хлор-фенольні та ін. попередники, які при високих температурах перетворюються в діоксини [69].

Обсяг утворення діоксинів суттєво залежить не тільки від вихідної сировини, але й від умов проведення процесу. Фактори, що сприяють їх утворенню: температура вище 150 °С, лужне середовище, наявність у газах часток карбону, золи, СО, хлоридів і з'єднань міді як каталізаторів. Зменшуючи вплив цих факторів, можна добитися малої постійної концентрації діоксинів у продуктах переробки незалежно від змісту галогенів у вихідній сировині [44, 70].

З обліком викладених вище особливостей утворення діоксинів і відомостей про їхні фізико-хімічні властивості можна визначити цілком реальні **можливості зниження діоксинової небезпеки** технологій термічної переробки органічних промислово-побутових відходів [44]:

1) **зменшення** у вихідній сировині **частки Cl- і бромвмісних матеріалів і речовин-каталізаторів**, що сприяють утворенню діоксинів (наприклад, **з'єднань міді**), – доцільно переробляти ці матеріали окремо;

2) **мінімізація утворення частки золи та димових газів і зменшення золовиносу**;

3) **забезпечення найбільш повного спалювання ТПВ** й застосування допалювання газів, що відходять;

4) керування **температурним режимом** процесу переробки вихідної сировини з нагріванням продуктів, що утворюються, **вище 1250 °С з витримкою більш 2 с.**;

5) **запобігання повторному синтезу діоксинів** при охолодженні димового газу або летючих продуктів термічної переробки;

6) **забезпечення високої герметичності переробних агрегатів** протягом усього процесу переробки;

7) **видалення та уловлювання летючих рідких і газоподібних сполук** у замкненому циклі хімічного очищення й переробки.

Більша частина перерахованих можливостей може бути реалізована в технології комплексної переробки твердих карбоновмісних відходів, яка розроблена в ДонНТУ [44]. Термічна переробка відходів у герметичних **термолізних печах** без доступу O<sub>2</sub> має перед прямим спалюванням істотну перевагу: при такому процесі діоксинів утворюється на кілька порядків менше [44]. Попереднє сортування ТПВ, яке застосовується в цій технології, дозволяє відокремити значну частину PET-тари, пластмаси, паперу та картону, завдяки чому також знижується утворення діоксинів при термолізі.

Хоча діоксини будуть утворюватися в процесі термолізу промислово-побутових відходів у широкому інтервалі температур, але максимальна кількість їх утворення та виділення буде збігатися з періодом найбільшого виходу летючих похідних, що мають температуру 650...750 °С. Тому залишковий зміст діоксинів та речовин, що сприяють їх утворенню у твердому залишку – твердому термолізному паливі наприкінці стадії термолізу при 900...1000 °С буде мінімальним.

Ці речовини будуть повністю зруйновані на наступній стадії – при спалюванні палива в топці з киплячим шаром. Наявність окиснювального середовища при коефіцієнті надлишку повітря більш 1,05...1,20 забезпечує краще вигорання й, отже, менше утворення діоксин-подібних речовин [44].

Принциповий для даної технології поділ теплоносія та маси, що переробляється, приводить до мінімального утворення летючих речовин, що містять діоксини. Летючі компоненти, що утворюються при термолізі, значно менше забруднені золю, ніж при спалюванні, оскільки процес проводиться з ущільненням вихідної сировини. Це забезпечується пресуванням пухкої маси відходів і шаровим спіканням маси, що переробляється. Така організація процесу практично повністю виключає утворення пилоподібних фракцій у газових продуктах.

Конструкція блоку термолізних агрегатів дозволяє при незначних витратах нагрівати летючі речовини, що надходять із усіх камер похилих термолізних печей, до 1200...1300 °С.

У новій технології можуть бути реалізовані також кілька додаткових технічних рішень із зменшення утворення діоксинів. Ефективними факторами такого зменшення при термічній переробці твердих відходів є попереднє виділення з потоку ТПВ пластмаси, паперу, – та застосування безкисневого процесу термообробки. Знешкодження діоксинів, що виділилися з летючими речовинами, досягається при високотемпературному нагріванні та нетривалій витримці їх при високих температурах. Запобігання нового синтезу діоксинів при охолодженні і їх виділення забезпечується сорбцією та фільтрацією газів.

Технологія комплексної переробки твердих карбон-вмісних промислово-побутових відходів при термолізі, запропонована ДонНТУ, представляється однією з найбільш ефективних з погляду забезпечення техногенної безпеки, тому що передбачає можливість запобігання викидів діоксинів. До особливих переваг, що сприяють зниженню викидів діоксинів у технологічному процесі термолізу, відноситься значне зменшення обсягів токсичних газів і можливість керування складом і, властивостями сировини.

*Високий ступінь очищення димових газів на московському сміттєспалювальному заводі забезпечується трьома ступенями їх очищення. На першому ступені здійснюється нейтралізація  $SO_2$ ,  $HCl$ ,  $HF$  вапняним молоком, що розпорошуються з великою швидкістю в реакторі. При цьому одночасно відбувається охолодження димових газів, яке супроводжується конденсацією оксидів важких металів і їх частковим уловлюванням.*

*На другому ступені очищення використовується рукавний фільтр, який уловлює тверді частки.*

Крім того, ще одна ступінь очищення димових газів від найбільш токсичних і складних для відділення речовин – діоксинів і фуранів – здійснюється за допомогою **активованого вугілля**, яке подається безпосередньо в газохід між котлом і реактором першого ступеня очищення газів.

Такі заходи дозволяють знизити зміст забруднюючих речовин у димових газах: сумарний вміст діоксинів і фуранів не перевищує  $0,1 \text{ мг/м}^3$ , сполук важких металів –  $1,1 \text{ мг/м}^3$ .

Яка ж ситуація з використання сміттєспалювальних заводів в Україні?

### **Сміттєспалювання<sup>8</sup>**

В Україні з 1984 р. було побудовано 4 ССЗ: у Харкові, Дніпропетровську, Севастополі, Києві. Основним технологічним обладнанням заводів є котли фірми "Дукла" виробництва Чехії.

ТПВ транспортуються на сміттєспалювальний завод сміттєвозами та самоскидами. Відходи вивантажуються в бункер-накопичувач з спеціальної естакади. Для запобігання розповсюдження неприємних запахів, з верхньої частини бункеру могутніми вентиляторами відбирається повітря. Після нагрівання до температури  $160...170 \text{ }^\circ\text{C}$  це повітря направляється в топку для забезпечення спалювання відходів. Бункер умовно поділений на три зони: зона приймання відходів, зона складування для гомогенізації та зона передачі відходів для спалювання після гомогенізації.

Для забезпечення якісного спалювання відходів, вантажопідйомні механізми бункера ТПВ постійно перемішують відходи з метою усереднення морфологічного складу. Ця операція дозволяє стабілізувати температуру спалювання відходів у межах  $700...900 \text{ }^\circ\text{C}$ . З бункера відходи подаються в приймальне відділення котлоагрегату. Гідравлічний штовхач дозовано подає відходи в пристрій котлоагрегату для спалювання палива. Термічна утилізація відходів відбувається на валковій решітці. Температура в шарі відходів становить  $350...450 \text{ }^\circ\text{C}$ . Максимально припустима температура в топці – **1200**  $^\circ\text{C}$  (конструктивне обмеження виробника котлоагрегатів). Охолоджені відходи викидаються в відділювач шлаку мокрого типу, а далі в бункер жужільного відділення. Регулювання якості спалювання відходів відбувається шляхом зміни часу їх перебування в зоні спалювання, висотою шару відходів, а також розподіленням первинного повітря по зонах валкової решітки.

Для забезпечення стабільного температурного режиму горіння відходів та необхідної паропроодуктивності котла при знижених теплотехнічних характеристиках відходів, топковий простір котлоагрегатів оснащений газовими горілками.

При спалюванні відходів утворюються димові гази, зольний попіл, шлаки та виробляється теплова енергія у вигляді пари. Димові гази після очищення на електрофільтрі викидаються через димову трубу.

---

<sup>8</sup> Національна стратегія поводження з ТПВ в Україні.

Дані з офіційного сайту Міністерства екології та природних ресурсів України



## Київський завод "Енергія"

Київський завод "Енергія" введений в експлуатацію у 1988 р. Завод спроектований інститутом "УКРКОМУННДПРОЕКТ", м. Харків. Загальна площа території заводу, з урахуванням під'їзних доріг становить 7,75 га. Максимальна проектна потужність заводу, з врахуванням коефіцієнту використання котлоагрегатів  $K = 2,7$  становить 350,0 тис. т/рік. Потужність заводу при умові спалювання відходів з калорійністю 4609 кДж/кг становить 175,0 тис. т/рік.

Основне технологічне обладнання – 4 сміттєспалювальних агрегати виробництва ЧКД "Дукла", Чехія з циліндричними валковими решітками, потужністю спалювання 8...15 т ТПВ/годину.

Допоміжне технологічне обладнання: електрофільтри, теплотехнічне обладнання та бойлерні, системи водо-, електро- та газопостачання, вантажопідйомні механізми жужільного відділення: два крани вантажопідйомністю по 5 т та бункеру ТПВ: два крани вантажопідйомністю по 10 т.

Кількість робітників протягом останніх 5 років в середньому – 270 чоловік. Частина теплової енергії, яка утворюється, використовується на власні потреби заводу.

У квітні 2000 р. на міжвідомчому засіданні керівників правоохоронних та природоохоронних органів м. Києва начальник управління екобезпеки В. Осика категорично заявив, що сміттєспалювальний завод не має права на існування оскільки забруднює повітря небезпечними речовинами (див. "Київські відомості" від 7 квітня 2000 р.). Завод працює 16 років і потребує масштабної реконструкції. Спеціалісти "Київенерго" розробили Програму розвитку заводу до 2006 р., відповідно до якої на реконструкцію заводу потрібно 50 млн. грн., з яких 20 млн. будуть витрачені на покращення ступеню газоочищення на заводі. Сьогодні на завод надходить близько 300 т ТПВ у день, у зв'язку з чим працює тільки один котел. Тариф на спалювання становить 15,6 грн./м<sup>3</sup>.

У рамках співпраці між Київською міськдержадміністрацією та ВАКСЕЕ здійснюється виконання проекту з реконструкції заводу, який зосереджено на оптимізації процесу спалювання та створенні системи моніторингу даних.

### Дніпропетровський сміттєспалювальний завод

Дніпропетровський сміттєспалювальний завод, введений в експлуатацію в 1992 р. Завод призначений для термічного спалювання ТПВ з використанням виробленого тепла та продуктів переробки в народному господарстві. Проектна продуктивність заводу — 355 тис. т/рік, встановлені 4 котли продуктивністю 15 т/годину кожний, сьогодні працює 2 котли. Тариф на спалювання відходів – 11 грн/м<sup>3</sup>.

Завод спроектований інститутом "УКРКОМУННДПРОЕКТ", м. Харків у 1983 р. Продуктами виробничої діяльності заводу являються пара та шлаки, які утворюються в результаті спалювання ТПВ. Зола уловлюється електрофільтрами. Відповідно до санітарної класифікації по СН-245-71 підприємство відноситься до II класу, з розміром санітарнозахисної зони 500 м.

Пара, яка виробляється забезпечує потребу в опаленні та гарячому водопостачанні військового містечка та сусідніх підприємств, а також технологічні споживи У-159, ПО "ЮМЗ", філії заводу "Пластмас", ПК "Лідер", ТОВ "Світлячок".

Протягом останніх 4 років завод має фінансові труднощі у зв'язку з недостатнім фінансуванням з державного бюджету. Враховуючи складну економічну ситуацію, рішенням 10-ї сесії міської ради від 22.12.99 р., завод увійшов у склад ТОВ з іноземними інвестиціями "Екологія". Це дозволило значно покращити санітарний стан міста, вирішити питання виплати заробітної плати робочим.

### **Харківський сміттєспалювальний завод**

В 1984 р. в Харкові був ведений в експлуатацію ССЗ з проектною виробничою потужністю 260 тис. т ТПВ у рік (720 т/на добу), з трьома котлами з продуктивністю 15 т/год. Завод спроектований інститутом "УКРКОМУННДІПРОЕКТ", м. Харків.

З моменту введення в експлуатацію завод практично ніколи не забезпечував проектною продуктивністю, а протягом останніх років працював нерегулярно, здійснюючи переробку до 100 тис. т. ТПВ у рік. За період експлуатації заводу, внаслідок недостатнього фінансування, капітальний ремонт обладнання не проводився. Переробка не відсортованих, надмірно зволжених відходів стала наслідком виходу з строю основного та природоохоронного обладнання заводу, тому ступінь зносу обладнання становить 95 %. У зв'язку з цим в березні 2001 р. Державне управління екології та природних ресурсів Харківської області, внаслідок систематичних порушень виробничого регламенту, зупинило роботу сміттєспалювального заводу.

Сьогодні вирішується питання доцільності його реконструкції. Так, в 1998 р. при розгляді основних напрямків розвитку системи санітарної очистки м. Харкова німецька фірма "Біркхоф і Хольте" оцінила вартість реконструкції сміттєспалювального заводу у 110 млн. доларів США. Це стало одним з аргументів на користь будівництва нового полігону для розміщення всього обсягу ТПВ, що утворюється в місті. За даними провідного підприємства в галузі поводження з ТПВ в м. Москва – ГУП "Екотехпром" – вартість реконструкції московського ССЗ аналогічної продуктивності, але в кращому технічному стані, склала 65 млн. доларів США.

Нормалізація процесу горіння та створення температури не меншої за 1200 °С дозволить також отримати кондиційний шлак і золу, які можуть бути використані в складі різноманітних будівельних матеріалів за технологіями розробленими інститутом "УКРКОМУННДІПРОГРЕС". У випадку якщо залишиться існуюча технологія, спалювання ТПВ (навіть при наявності високоефективної системи газоочистки) потребуватиме значних витрат на закупівлю природного газу. Як показує досвід роботи заводу, з 1996 р. по 1999 р. щорічно спалювалося від 6 до 8 млн. м<sup>3</sup> природного газу для того, щоб переробити 31...38 тис. т ТПВ у рік. Навіть, якщо витратити 100 млн. доларів США і довести потужність заводу до 260 тис. т у рік (при цьому потреба у газі становитиме близько 60 млн. м<sup>3</sup> у рік), залишається ще 100 тис. т. у рік ТПВ, які

треба розміщувати на полігоні, а також близько 80 тис. т. у рік золи та шлаку, які треба депонувати на полігоні.

Таким чином, у випадку відновлення та реконструкції сміттєспалювального заводу, залишається необхідність у будівництві полігону.

#### **Кримський термічний завод**

Завод введений в експлуатацію в 1984 р. Проектна потужність заводу по прийманню відходів – 281 тис. т/рік, в Севастополі щорічно утворюється від 80 до 90 тис. тон відходів. Кількість котлоагрегатів з валковою решіткою виробництва ЧКД "Дукла" – 3, їхня продуктивність по 15 т/годину, площа території заводу – 5,34 га.

З причин недостатнього фінансування на заводі **не були встановлені фільтри** двох ступенів очистки, **спроможні уловлювати зольні фракції та діоксини**. Внаслідок численних скарг від населення нового мікрорайону Остряково, побудованого поблизу заводу, в квітні 1998 р. завод був закритий і приватна фірма почала демонтаж обладнання.

Сьогодні ДКП "Кримський термічний завод" планується реконструювати у теплоелектростанцію. Тверді відходи, що спалюються на заводі стануть паливом для видобутку електроенергії, собівартість якої буде на 20 % нижчою у порівнянні з існуючими тарифами. На заводі будуть встановлені 3 газові та парові турбіни загальною потужністю 15 МВт. Буде передбачена чотирьохступенева система очистки, яка включатиме газову, хімічну та електростатичну фільтрацію, а також санітарну обробку, яка до цього часу не використовувалася на інших заводах. Відпрацьовані шлаки і зола будуть використані при виробництві цегли, будівельних матеріалів для доріг, труб, тощо. Інвестором проекту виступила американська компанія "Стентон-Груп", яка надасть заводу необхідні для запуску першої технологічної лінії 2,6 млн. доларів США.

Підсумок інформації про сміттєспалювання в Україні наведено у табл. 4.17.

*Таблиця 4.17*

#### *Спалювання відходів в Україні*

Область	Місто	Обсяги відходів, спалених в 2002 р (т/рік)	Рік початку експлуатації сміттєспалювального заводу
Київська	м. Київ	~ 100000	1988
Харківська	м. Харків	Не працює	1984
Дніпропетровська	м. Дніпропетровськ	- 150000	1992
АР Крим	м. Севастополь	Не працює	1984

Наведемо аналіз даних щодо сумарної питомої активності для шлаків Українських ССЗ[71].

**Сумарна питома активність** для шлаків Кримського, Харківського та Київського заводів була 218, 407 і 259 Бк/кг відповідно. Можна вважати ці

значення високими. Наприклад, для житлового будівництва допускаються матеріали першого класу із сумарною питомою активністю не більше 375 Бк/кг[71].

До 1980 р. ДЕРЖСТАНДАРТ допускав застосування позасистемних одиниць. У науково-технічній літературі ці одиниці зустрічаються дотепер, тому необхідно знати ті й інші, а також співвідношення між ними.

Одиницею активності в СИ служить розпад у секунду (розп/с). Цій одиниці присвоєно найменування беккерель — Бк (Bq), 1 Бк = 1 розп/с.

Позасистемною міжнародною одиницею, що найчастіше вживається є кюрі - Ки (Ci), 1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк, що відповідає активності 1 г Ra.

Співвідношення між одиницями СИ і позасистемними одиницями виміру презентовано в табл. 4.18.

Таблиця 4.18

Співвідношення між одиницями СИ і позасистемними одиницями<sup>9</sup>

Величина	Найменування та позначення одиниць		Співвідношення між одиницями
	СИ	Позасистемна одиниця	
Активність радіонукліду у джерелі	Беккерель (Бк)	Кюрі (Ки)	1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк 1 Бк = 1 розп/с 1 Бк = $2,703 \cdot 10^{-11}$ Ки
Доза поглинання	Грей (Гр)	Рад (рад)	1 рад = 100 ерг/г = $1 \cdot 10^{-2}$ Дж/кг 1 Гр = 1 Дж/кг = $10^4$ ерг/г = 100 рад
Потужність поглиненої дози	Грей за секунду (Гр/с)	Рад за секунду (рад/с)	1 рад = $1 \cdot 10^{-2}$ Дж/(кг·с) = $1 \cdot 10^{-2}$ Гр/с
Еквівалентна доза	Зіверт (Зв)	Бер (бер)	1 бер = 1 рад/к = $1 \cdot 10^{-2}$ Дж/кг (к) = $1 \cdot 10^{-2}$ Гр/(к) = $1 \cdot 10^{-2}$ Зв 1 Зв = 1 Гр/(к) = 1 Дж/кг/(к) = 100 рад/(к) = 100 бер
Експозиційна доза	Кулон на кг (Кл/кг)	Рентген (Р)	1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг 1 Кл/кг = $3,88 \cdot 10^3$ Р
Потужність експозиційної дози	Кулон на кг за секунду Кл/(кг·с); Ампер на кг (А/кг)	Рентген за секунду (Р/с)	1 Р/с = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг·с = $2,58 \cdot 10^{-4}$ А/кг 1 Кл/(кг·с) = $3,88 \cdot 10^3$ Р/с

<sup>9</sup> Иванов В.И., Машкович В.П., Центер Э.М. Международная система единиц (СИ) в атомной науке и технике. – Справочное руководство, 1981;  
Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. – М.: Высшая школа, 1988;  
Радиация. Дозы, эффекты, риск / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.

При існуючих досить низьких температурах спалювання ТПВ на заводах України, продукти спалювання містять деяку кількість залишкового органічного карбону. Спалювання в струмі  $O_2$  показало, що вміст органічного карбону в зразках золи та шлаків був 1...4 %. Термограми зразків також підтверджують наявність залишкового органічного карбону.

Виявлені **органічні сполуки і їх частки (%)** у суміші:

- бензол – 2,9;
- толуол – 9,6;
- ксилол – 11,2;
- пропілбензол – 3,4;
- стірол – 6,8;
- метілстірол – 2,8;
- фенол – 2,9;
- крезол – 5,3;
- метанол – 2,0;
- ацетон – 2,1;
- парафіни – 7,3;
- олефіни – 17,0;
- дієни – 15,6.

Найбільшу небезпеки для навколишнього середовища може представляти фенол, тому що він має найменшу ГДК із виявлених сполук.

**Продукти спалювання ТПВ містять важкі метали.** За літературним даними в золі продуктів спалювання виявлені, %:

- кадмій – 0,0035;
- кобальт – 0,002;
- берилій – 0,0004;
- олово – 0,0058;
- миш'як – 0,0001;
- свинець – 0,15;
- цинк – 1,4;
- марганець і хром у кількості більш 0,1.

В шлаках, %:

- ртуть – 0,3;
- залізо – 2,0;
- олово – 5,0;
- свинець – 0,15;
- цинк – 0,5.

Результати, отримані для золи та шлаків Кримського, Харківського й Київського заводів наведені в табл. 4.19. Зміст важких металів та продуктів спалювання ТПВ перевищує їхній середній зміст у ґрунті. Враховуючи значний зміст з'єднань цих металів у продуктах спалювання ТПВ, вони можуть стати небезпечним забруднювачем середовища.

Визначений ряд показників водної витяжки продуктів спалювання Кримського заводу, отриманих при співвідношенні: зразок–вода – **1:50** і Харківського, Київського заводів – при співвідношенні зразок–вода – **1:25**,

періодичним перемішуванням протягом двох доби при кімнатній температурі (табл. 4.20). Для порівняння наведені ГДК для рибогосподарських водойм або джерел централізованого господарсько-питного водокористування (ДЕРЖСТАНДАРТ 2761-84) і ГДК для питної води (ДЕРЖСТАНДАРТ 2874-82).

Таблиця 4.19

*Зміст металів у золі та шлаках, %[71]*

Найменування заводу	Матеріал	Кадмій	Мідь	Марганець	Цинк	Нікель	Залізо
Кримський ССЗ	зола	0,0076	0,48	0,09	0,53	0,43	5,7
	шлаки	0,0085	0,16	0,105	0,23	0,04	6,9
Київський ССЗ	зола	0,0016	0,123	0,128	0,544	0,018	3,1
	шлаки	0,0037	0,085	0,066	0,203	0,013	2,0
Харківський ССЗ	зола	0,0083	0,048	0,069	0,35	0,013	0,9
	шлаки	0,0026	0,089	0,080	0,28	0,012	2,4

Розчинність у вигляді іонів марганцю, цинку, заліза менш 1 % їх вмісту в продуктах спалювання ТПВ, а іонів кадмію, міді, нікелю й хрому від 1 до 10 %. Кількість металів у водних витяжках порівнянне із припустимим їхнім змістом у водоймах, але можливо їх нагромадження в навколишньому середовищі при значних обсягах відвалів і тривалому терміні зберігання відходів.

Аналізуючи вище наведені результати дослідження продуктів спалювання ТПВ трьох заводів України, можемо зробити висновок, що продукти спалювання можуть служити джерелом забруднення навколишнього середовища важкими металами й летучими продуктами неповного спалювання органічних речовин.

Для зниження негативних наслідків зберігання у відвалах продуктів спалювання ТПВ необхідно знайти їм застосування, наприклад, у виробництві будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві.

Таблиця 4.20

*Результати аналізу водної витяжки при співвідношенні зразок: вода – 1:50 (Кримський завод), зразок: вода – 1:25 (Київський, Харківський заводи)[71]*

Показники	Концентрація іонів у витяжці, мг/г						ГДК <sub>в</sub>	ГДК <sub>п.в</sub>
	Кримський		Київський		Харківський			
	зола	шлаки	зола	шлаки	зола	шлаки		
Сухий залишок	2536	690	8300	370	1660	350	1000*	1000
Магній	57	54	20	7	5	0	40	не норм.
Кальцій	417	272	513	100	172	72	180	не норм.
Нікель	0,12	0,18	0,54	0,188	0,62	0,625	0,01	не норм.
Мідь	0,21	0,19	0,83	0,83	0,83	0,83	0,01	0,1
Цинк	0,49	1,0	0,11	0,11	0,08	0,11	0,01	1,0
Кадмій	0,03	0,05	0,12	0,183	0,16	0,176	0,005	5,0
Свинець	0,6	0,7	–	–	–	–	0,1	0,001
Марганець	0,12	0,16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,1	–

Примітка: \* відзначені ГДК для джерел централізованого господарського водокористування.

Матеріали, виготовлені із застосуванням продуктів спалювання повинні контролюватися по виділенню шкідливих речовин у повітряне й водне середовище.

### **Витрати та порівняльний аналіз**

У цей час оптимальна з погляду економіки потужність печі – це 10 т/годину або 80 000 т/рік[37, 40, 44, 50, 69–70]. На сміттєспалювальному заводі використовується 2 або 3 печі. Сума інвестицій у завод, що має 2 печі (160 000 т/рік), становить близько 100 млн. євро.

Витрати на переробку 1 т ТПВ складають від 60 до 100 євро за 1 т[65]. У суму витрат входять витрати на амортизацію та обслуговування (50 на 50), а також витрати на очищення газів, що відходять (видаткові матеріали, очищення стічних вод, поховання летучої золи). Ефективність рекуперації енергії може вимірятися у кВт/год електроенергії на тонну оброблених відходів.

У Франції мова йде про 150 кВт/год, у виняткових випадках – про 192 кВт/годину. Нагадаємо про те, що ефективність утилізації звалищного газу від полігона ТПВ становить близько 250 кВт/годину, при цьому в атмосферу не викидаються діоксини, важкі метали, не утворюється летуча зола.

На закінчення, відзначимо, що будівництво сміттєспалювального заводу вимагає, щоб інвестиції здійснювалися відразу та у повному обсязі. Крім того, потік відходів повинен бути постійним. На відміну від цього, інвестування в будівництво екологічно безпечного полігона є поступовим, засоби вкладаються в міру будівництва нових карт. Економічна ефективність полігона лише в незначному ступені залежить від зміни потоку відходів [32, 40]

### **Висновки**

В 1986 р. Швеція стала першою країною, що прийняла припустимі норми концентрації діоксинів у повітрі.

У США немає загальнонаціональних стандартів і норм якості викидів сміттєвих печей так само, як немає норм припустимої концентрації діоксинів у них[40].

Склад викидів ССЗ залежить від складу самого сміття, температури самої печі та багатьох інших факторів. Керівники та робітники, які працюють на таких підприємствах, у Німеччині та Швейцарії перед початком роботи проходять 2,5-річну спеціальну підготовку. Керівник будь-якого рангу, який навмисне порушує норми викиду, може одержати до 2 років в'язниці.

Якби керівники та робітники ССЗ інших країн поводити себе так, як це роблять у Німеччині та Швейцарії, то при спалюванні сміття якість викидів покращилася б.

#### 4.1.3.4 Плазмовий спосіб утилізації відходів

Плазмохімічну технологію використовують для переробки високотоксичних рідких і газоподібних відходів. При цьому не тільки знешкоджуються небезпечні відходи, але утворюються коштовні товарні продукти. Процес здійснюється в плазмотроні за рахунок енергії електричної дуги при температурі вище 4000 °С. При такій температурі O<sub>2</sub> і будь-які відходи розщеплюються до електронів, іонів і радикалів. Ступінь розкладання токсичних відходів досягає 99,9998 %, а в окремих випадках збільшується 99,99995 %.

Через високі витрати енергії й складності встаткування плазмохімічна технологія застосовується для ліквідації тільки тих відходів, знешкодити які іншими способами не вдається.

Газ, що утворює плазму: H<sub>2</sub>, N–N суміш та ін.) нагрівається електричною дугою в плазмотроні до 4000...5000 °С. Низькотемпературна плазма, що утворюється, з сопла плазмотрона надходить у плазмохімічний реактор, куди форсунками впорскуються хлорорганічні відходи.

При змішуванні відходів із плазмою відбувається їхнє випаровування, термічне розкладання (піроліз) з одержанням олефінових вуглеводнів, хлористого водню та технічного карбону (сажі).

Піролізний газ піддають швидкісному загартовуванню в гартівному пристрої, а потім охолоджують і очищають від сажі. Очищений газ використовується при синтезі хлорорганічних продуктів. Процес є замкненим, безвідхідним і рентабельним.

#### 4.3.2 Сортування та розподіл відходів на фракції

Країни ЄС досягли найбільших успіхів у поводженні з відходами [40]. Широке впровадження роздільного збору відходів, вторинна переробка та їх енергетичне використання сприяють постійному зменшенню матеріалів, що підлягають похованню. Директиви ЄС: № 75/442/ЕЕС від 15.07.75 про поводження з відходами, № 91/689/ЕЕС від 12.12.91 про поводження з небезпечними відходами, № 1999/31/ ЕЕС від 16.07.99 щодо поховання відходів на полігонах, № 94/62/ ЕЕС від 20.12.94 про пакування та пакувальні відходи, – сприяли зменшенню обсягу відходів, що піддаються депонуванню на полігонах, а також зменшенню обсягу поховання органічних відходів. Директивно встановлені такі пріоритетні напрямки, як зниження утворення відходів, їх вторинне використання, вторинна переробка й знешкодження.

***В управлінні відходами Європейський Союз основною метою вважає охорону навколишнього природного середовища.***

Високотехнологічні рішення, що використовуються досить дорогі. Кінцева мета – звести поховання відходів до мінімуму. При прийнятті рішень ***основна увага звертається на охорону навколишнього середовища, а не на***



**розмір майбутніх фінансових витрат.** Політика в області керування відходами в країнах ЄС у цей час значно змінюється.

У пропозиції Комісії до Шостої Програми з охорони навколишнього середовища (ЕАР) проблема відходів включена в управління природними ресурсами. Нова політика, спрямована на контроль усього життєвого циклу продуктів споживання, може привести до істотної зміни існуючих норм. Це очевидно, тому що мінімізувати утворення відходів треба на самому початку життєвого циклу матеріалів. Мета зниження матеріалоемності та токсичності всієї економічної діяльності в довгостроковій перспективі буде більш важлива, ніж ціль в області керування відходами.

Більш прагматичний метод, у порівнянні з Європою, використовується в Сполучених Штатах Америки [37]. Економічні думки, засновані на аналізі вартості та ефективності, відіграють істотну роль у проведеній політиці. Депонування відходів залишається найпоширенішим підходом у Сполучених Штатах. Це пов'язано із двома показниками: порівняно низька щільність населення та висока вартість альтернативних способів керування відходами.

Інші економічно розвинені країни слідують шляхом ЄС або США. Країни з обмеженими земельними площами додержуються політики ЄС – Гонконг, Сінгапур, Японія. Країни, де це обмеження не існує, прагнуть додержуватися прагматичного курсу Сполучених Штатів – Австралія.

У країнах, що розвиваються, як правило, відсутня політика в області керування відходами. Крім того, більшість країн, що розвиваються не мають сучасних норм і правил щодо поводження з відходами. Проте, керування відходами в наш час становить інтерес у зв'язку з розвитком охорони здоров'я та зусиллями по захисту навколишнього середовища.

Великі відмінності в стандартах керування відходами в країнах, що розвиваються обумовлені, головним чином, кліматичними, культурними, промисловими, геологічними і юридичними факторами. Країни, що розвиваються не мають технічних і фінансових ресурсів, щоб успішно управляти відходами. Це означає, що способи розміщення відходів часто неадекватні, а послуги зі збору відходів – недостатні та неефективні. Звичайно зібрані відходи переміщуються в найближчий доступний відкритий простір. У деяких випадках, відходи спалюються для того, щоб зменшити їхній обсяг і щоб мінімізувати залучення тварин і шкідників. У процесі індустріалізації країни, які розвиваються повинні будуть справлятися з більшими кількостями різноманітних матеріалів. Звичайно в таких країнах розміщують виробництва, на яких утворюються небезпечні відходи, наприклад: нафтопереробка, нафтохімічні підприємства, виробництва фармацевтичних препаратів і металургія. Але метод розміщення відходів залишається колишнім – неконтрольоване скидання. Вивіз відходів у цих випадках повинен ставати керованим, і перший крок до цього – використання так званих перехідних технологій.

Більшість країн, що розвивається орієнтується на різні процеси, призначені для відновлення матеріалів з потоку твердих відходів. Дослідження показали, що місцева промисловість у деяких випадках сильно залежить від доступності вторинних матеріалів для переробки. Деякі із цих матеріалів

містять картон, паперові продукти, деякі типи пластмаси й металів. В умовах міст, де ведеться активна комерційна діяльність відходи звичайно сортують перед навантаженням у транспорт для сміття. Звичайно сортуванню піддають паперові відходи, пластик і алюмінієву тару.

Досвідом розвинених країн таких як Німеччина, Австрія та ін. показано, що утилізація нерозділеного потоку ТПВ депонуванням, спалюванням та біологічним розкладанням неефективна, через зміст великої кількості баластових фракцій. Тому велике значення для поліпшення ефективності переробки відходів як на місцях їх утворення, так і смітниках і полігонах одержує **сортування та поділ відходів на складові фракції**.

Такий підхід дозволяє витягати з відходів матеріали, що є **вторинним матеріальним ресурсом** (макулатура, пластик, чорні та кольорові метали, скло та ін.) або матеріали, які можуть бути використані як паливо – **енергетичний ресурс** (деревина, різні горючі відходи та ін.). Концепція обігу з відходами як із вторинними матеріальними й енергетичними ресурсами розроблена та використовується більшістю держав Америки, Азії, Європи саме в такий спосіб. У цьому плані заслуговує на увагу концепція обігу з відходами, запропонована у Великобританії [39]. На рис. 4.7 показана схема комплексного обігу з відходами при їх анаеробній переробці. З неї випливає, що з 1 т ТПВ може бути отримано близько 5 ГДж енергії.

**"Утилізація відходів в енергетичних цілях" є основною метою європейської політики в області поводження з відходами.** Дуже важливою ланкою в "міському ланцюжку" поводження з відходами є їхній збір, сортування та переробка. Нашим часом **депонування ТПВ на полігонах не розглядається як елемент сталого розвитку як з погляду охорони навколишнього середовища, так і з погляду забезпечення здоров'я населення.**

**Завдання 4.4.** В табл. 4.21 наведено зміст складових ТПВ в % від загальної маси. Загальна маса складає 630 тис. т у рік. Відходи піддають попередньому сортуванню. Визначити: а) яка кількість складових ТПВ, у кг затримується на решітках сортувального пристрою з розміром отворів 225×225 мм; б) яка кількість складових ТПВ, у кг затримується на 2-х послідовно встановлених решітках сортувального пристрою з розміром отворів 225×225 мм та 160×160 мм;

Таблиця 4.21

Зміст складових ТПВ по фракціях, % від загальної маси [1, 24, 26, 41–43, 45]

Найменування складових ТПВ	Величина фракцій, мм				
	350...251	250...151	150...101	100...50	менш 50
Папір	3...8	9...11	9...11	7...9	2...8
Харчові відходи	—	0...1	2...10	7...13	17...22
Метал	—	0...1	0,5...1	0,8...1,6	0,3...0,5
Дерево	0,5...1	0...0,5	0...0,5	0,5...1	0...0,5

Текстиль	0,2...1,3	1...1,5	0,5...1	0,3...1,8	0...0,5
Кістки	—	—	—	0,3...0,5	0,5...0,9
Скло	—	0...0,3	0,3...1	0,5...1,5	0...0,3
Шкіра, гума	—	0...1	0,5...2	0,5...1,5	0...0,3
Будівельне сміття	—	—	0,2...1	0,5...1,5	0,5...2
Пластмаса	0...0,2	0,3...0,8	0,2...0,5	0,2...0,5	0,2...0,5
Сміття та ін.	—	0...0,5	0...0,5	0...0,4	7...11
УСЬОГО:	4...10	11...15	18...22	20...30	30...40

#### 4.3.2.1 Матеріали, які використовують вторинне та умови їх регенерування

*Вторинні матеріальні ресурси* представляють залишки та споживчі відходи, які можна переробити в матеріал або продукцію іншого виду.

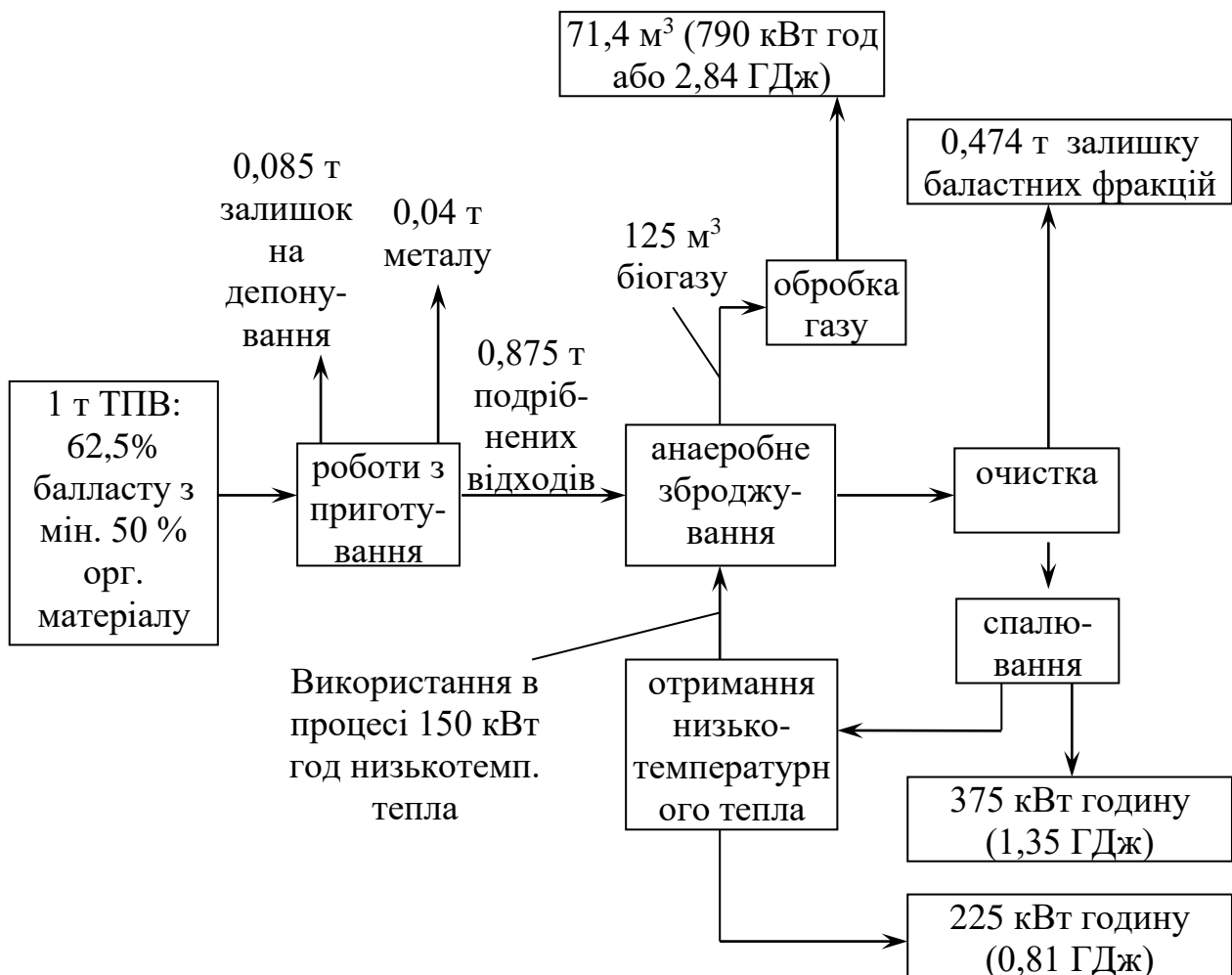


Рис. 4.7 – Схема комплексного поводження з відходами при анаеробній переробці [39]

Це вироби з металу, зношені та зламані частини машин і знаряддя праці, залишки пластмаси та зношені вироби, макулатура, скляні вироби, осколки та ін. Споживчі відходи утворюються як в промисловості, так і в побуті – у домашніх господарствах і в громадських місцях.

Кількість залишків виробництва прямо залежить як від ступеня досконалості технологічних процесів, так і від зацікавленості працівників раціонально використовувати сировину та матеріали. Тому потрібно намагатися зменшити кількість відходів, впроваджуючи у виробництво сучасні маловідходні та безвідходні технології, і де можливо забезпечити комплексну переробку матеріалів, а залишки потрібно намагатися розділяти прямо в процесі роботи, збираючи їх і доставляючи на подальше використання за їх властивостями. Потрібно пам'ятати, що відходи – це сировина, – тільки в іншому місці й виді.

Потрібно відзначити, що вторинне використання сировини та матеріалів – один з шляхів підвищення рівня корисного використання. З використанням відходів як ВМР ми розширюємо свою сировинну базу. До того ж значення вторинного використання цих ресурсів рік у рік росте, тому що зростають обсяги виробництва та споживання та ціни на матеріальні ресурси. Крім того, все більше зростають капіталовкладення, які необхідні для розширення видобутку сировини.

Вигода використання ВМР також пов'язана з тим, що цю сировину можна ввести прямо в технологічний процес виробництва продукції, обходячи початкові стадії. Це дозволяє значно зменшити витрати виробництва та скоротити загальний цикл виробництва. Економічна доцільність переробки відходів виробництва та ТПВ зв'язана не тільки з їх зростаючою кількістю, але також із змістом корисних матеріалів у них.

Щоб поліпшити корисне використання відходів, необхідно:

- активізувати сортування відходів і сортований збір у домашніх господарствах і в суспільних установах;

- розробити та реалізувати програми по зменшенню та переробці відходів, тобто, вкладені в ці заходи фінанси в загальній сукупності менші, ніж ті, які необхідні для запобігання наслідків від забруднення навколишнього середовища;

- зацікавити підприємства переробляти використовувані відходи, у зв'язку з цим знижувати податки за переробку вторинних ресурсів.

Переробка відходів дозволяє:

- економити ресурси природи, що не відновлюються (нафта, газ, руди та ін.), які використовують при видобутку первинного матеріалу;

- економити енергію, так як для процесів переробки відходів її споживання значно менше, ніж для процесів видобутку первинних матеріалів;

- зменшити забруднення навколишнього середовища, це пов'язане з депонуванням відходів на смітниках (емісія, витік, забруднення ґрунтів);

- зменшити емісію газів: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>;

– зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище від синтетичних речовин, які природа не здатна асимілювати;

– зменшити площу землі, необхідної для місць депонування відходів (яка потім довгостроково не використовується для господарських цілей).

Однак, переробляти можна тільки вторинну сировину, а не відходи у широкому сенсі цього терміну, тому впровадження програми переробки відходів потрібно починати з досліджень, у ході яких потрібно з'ясувати:

– якою в потоці відходів відповідного міста є кількість тих матеріалів, які передбачено зібрати окремо й передати на повторну переробку;

– можливо організувати систему збору та первинної обробки необхідних відходів, щоб їх перетворити у вторинну сировину;

– які будуть витрати такої системи;

– існує ринок збуту для приготовленої вторинної сировини, а також, за яку ціну її можна буде продавати.

У свою чергу ціна, яку переробник буде платити за вторинну сировину, буде мінятися залежно від багатьох факторів, однак вона завжди буде нижче, ніж для схожого первинного матеріалу.

#### **4.3.2.2 Сортування відходів у домашніх господарствах**

Сортування відходів, яке здійснюють домашні господарства, можна вважати вигідним, тому що цю операцію домашні господарства виконують безкоштовно. Однак для забезпечення методу такого сортування необхідна інфраструктура та співробітництво з населенням. Вдале сортування в цьому випадку залежить від трьох факторів – інформативність, зручність і мотивація населення.

##### **Інформативність**

Безперервне інформування населення про сортування відходів має бути довгостроковим заходом у самоврядуванні. Освіта дітей в школах є одним з найефективніших заходів поліпшення інформативності населення, тому що діти у свою чергу, навчають своїх батьків і дідусів з бабусями сортувати відходи. Щоб сортування зробити простішим й краще зрозумілим для населення, корисно інформувати, які відходи можна й не можна кидати в контейнери.

##### **Зручність**

Неадекватна, недоступна інфраструктура не дозволяє населенню ефективно брати участь у сортуванні відходів. Важливі фактори – невелика відстань і доступність контейнерів сортованого збору, частота збору відходів та ін.

##### **Мотивація**

Мотивація населення часто дуже пов'язана з диференційованими тарифами вивезення відходів. За кордоном найчастіше населення платить зменшену плату за сортовані відходи, або не платить зовсім – плату за відходи стягують тільки за несортовані відходи.

### 4.3.2.3 Центри первинної обробки відходів

Зібрані сортовані відходи, що переробляються далі ще раз піддають сортуванню в центрах первинної обробки, використовуючи лінії конвеєра та технічні пристрої. Чим більш чітко сортування виконане на місці утворення відходів, чим чистіше матеріал одержують, тим менше роботи з ними в центрі первинної обробки.

Найчастіше в центр попадають такі матеріали:

- газетний папір,
- картон, картон після напоїв,
- скляна тара,
- алюмінієві або залізні коробки після напоїв,
- пластмасова тара.

Відсортовані в домашніх господарствах відходи не завжди відповідають подальшим вимогам використання сировини. Для них часто необхідна подальша первинна обробка, у результаті якої готується вторинна сировина, відповідна до вимог підприємства переробки.

Головна обробка – повторне пересортування маси, у результаті якої відокремлюють потрібну сировину. У пунктах збору відходів можна влаштувати як механічне сортування, так і сортування при використанні ручної роботи. Хоча ручне сортування може забезпечити більш високу якість відсортованих матеріалів, воно повільне й вимагає високої трудомісткості. Для декількох потоків відходів можливості ручного сортування обмежені, тому що важко відрізнити певні матеріали, наприклад, пластмаси певного виду (HDPE або PVC або PET). Ці матеріали швидше й краще сортують автоматичні системи. З іншої сторони, інвестиції в пристрої автоматичного сортування більші, тому що пристрої дорогі. Остаточний розв'язок залежить від витрат на робочу силу, вибору технологій і цілей подальшого використання матеріалів.

#### **Централізоване сортування**

Централізоване сортування часто використовується, щоб повторно відсортувати зібрані від споживачів відходи. У різних державах різні підходи. Наприклад, у Німеччині збирають разом не паперові відходи, що переробляються ("жовті мішки") в одному мішку, і потім їх централізовано сортують по видах матеріалів.

Процес сортування в основному – робота рук, що дуже трудомістко. Сортування можна виконувати також на автоматизованих пристроях, які призначені для більших обсягів. Пристрої сортують відходи, забирають домішки, а також змінюють фізичні властивості відходів. Потоки відходів після сортування посилають на переробку, спалювання, біологічну переробку або депонування.

Відсортовані, чисті матеріали, часто тільки спресовані або запаковані, передають далі на підприємства переробки. Головне завдання і ціль сортувальних пристроїв – підвищити кількість і якість відсортованих матеріалів, щоб їх згодом якнайдорожче продали на ринку. Однак ринок

відходів, що переробляються повинен бути стабільний і стійкий, щоб матеріали можна було реалізувати.

Пристрої сортування можуть бути різними: починаючи від механізованих до пристроїв, на яких переважно використовується ручна робота. Сортувальні пристрої звичайно виконують наступні дії:

- відсів;
- зменшення розмірів;
- ущільнення;
- відділення по щільності або магнетичним властивостям (табл. 4.22).

Одна з розповсюджених проблем при установці ліній сортування відходів є вибір місця. Населення звичайно проти установки таких пристроїв, тому що їхня експлуатація створює шум та небезпечні викиди. Установка вилучених центрів сортування у свою чергу може створити більше витрат на транспорт.

*Таблиця 4.22*

*Розповсюджені процеси сортування відходів [40]*

Процес	Результат
Відсів (решітки, сітки)	Відсів домішок, видалення крупно габаритних та нестандартних предметів
Подрібнення (подрібнювачі)	Видалення домішок, зменшення розмірів для усіх видів відходів
Видалення (циклони, сепаратори щільності, магнетичні сепаратори)	Видалення відходів, що містять залізо та відходів різної щільності
Вологе видалення	Видалення скла та алюмінію
Компактність	Пакування у кіпи для переміщення та збереження матеріалів. Використовують для паперу, картону, пластмас, текстилю, алюмінію

### **Сортування різних видів відходів**

#### *Несортовані відходи*

Сортування таких відходів може бути виконане, в основному, автоматизовано, використовуючи відмінність щільності відходів, їх розміри, електричні або магнетичні властивості. Якщо потік відходів не містить небезпечні домішки (наприклад, це тільки відходи від упакування), тоді відходи можна піддавати сортуванню, використовуючи також лінії сортування. У цьому випадку звичайно потік відходів рухається по конвеєру, з якого сортувальники руками сортують газетний папір і картон, пластмасову тару (PET, PE, PVC), цілую скляну тару. Металеві відходи звичайно відокремлюють в ході магнетичної сепарації.

Якщо використовується механізоване сортування, тоді спочатку завезені відходи попадають на дворівневі вібраційні ґрати з різними розмірами отворів. На них відходи розділяються на три потоки: матеріали великого розміру (картон, пластмасові плівки); матеріали середнього розміру (газетний папір,

журнали, коробки від напоїв, пластмасова й скляна тара); матеріали маленького розміру (< 50 мм).

### **Частково відсортовані відходи**

Частково відсортованими вважаються відходи, які розсортовані у два потоки (наприклад, із загального потоку відділений папір і пакувальні матеріали). В центрі обробки потоки далі йдуть окремо відсортованими.

### **Види матеріалів, які використовують вторинне**

#### **Метал**

Виплавка сталі з надлишків металу й лома набагато вигідніше, ніж його виробництво в рамках повного металургійного циклу, що пов'язане з видобутком і збагаченням залізної руди, видобутком кам'яного вугілля й переробкою в кокс, видобутком чавуну, використовуючи як паливо кокс, і переробкою чавуну в сталь. З надлишків чорних металів (сталі, чавуну) і лома, використовуючи як добавку різні залізні сплави, можна відразу розплавити сталь необхідної марки, і цикл виробництва скорочується багаторазово. Схожа ситуація з виготовленням відливу чавуну та кольорового металу. Тут можливо максимально використовувати залишки виробничого та побутового металу та лом. У порівнянні з іншими кольоровими металами (Cu, Zn, Sn і їх сплави) успішніше розвинена переробка вторинного алюмінію. У першу чергу, це пов'язане з тим, що алюмінієві залишки та лом можна повністю переробити в нову продукцію, по-друге, для виробництва алюмінію із вторинної сировини необхідно приблизно в 23 рази менше електроенергії та в 8 раз менше капіталовкладень, ніж при виробництві його з первинної сировини – бокситів. Потрібно відзначити також, що з погляду вторинної переробки, самі актуальні ті алюмінієві вироби, термін служби яких короткий, – алюмінієва тара та пакувальні матеріали (контейнери, коробки, фольга). За ціною вони становлять тільки 1% із загального обсягу матеріалів упакування, причому приблизно 80 % із цієї кількості – коробки від алюмінієвих напоїв.

#### **Скло**

Скляні відходи утворюються, як при виготовленні скляних виробів, так і у промисловості, у будівництві, у транспортуванні продукції, у торгівлі й у побуті. Багато скляних осколків з'являється прямо в харчовій промисловості, торгівлі, при зберіганні, завантаженні й реалізації продукції. Скляні осколки та різні використані скляні вироби – одна з найважливіших вихідних речовин у скляній промисловості (зі скла завжди виходить скло) і дозволяє заощаджувати значну кількість якісного кварцового піску, кальцинованої соди, електроенергії та палива. Наприклад: *1 т скляних осколків дозволяє заощадити 1 т кварцового піску та 250 кг кальцинованої соди.*

Як свідчить закордонний досвід, вторинне скло можна приєднати до первинної сировини в середньому в обсязі 30...50 %. У промислово розвинених західних державах додавання скляних осколків, при виготовленні світлих пляшок, – до 60 %, але, при виготовленні пивних пляшок темного фарбування, навіть перевищує 80 %. Приєднання кожних 10 % скляних осколків до первинної сировини при виробництві скла, зменшує споживання електроенергії



на 2,5 %. При відділенні скла важливо відокремити керамічні забруднювачі, тому що ринок скла, що переробляється, дуже чутливий до домішок такого виду.

### **Макулатура**

Макулатура утворюється з різних використаних паперових і картонних виробів. До макулатури зараховують також старі газети, журнали, використані зошити, використаний папір і картон від пакування та ін.

Питома вага паперу та картону в загальному потоці побутових відходів є однією з самих більших. У Латвії це ~16 %, а в Німеччині, Бельгії, Франції, Великобританії та ін. країнах ЄС досягає 30 %. Щоб розширити використання вторинної сировини та картону при виготовленні паперу, придатний іноземний досвід. Так, у Німеччині велика частина паперу вжитого для пакування та друкування періодичних видань, вертається назад у промисловість. Вживання макулатури для виробництва паперу й картону в середньому досягає 50 %, а при виготовленні паперу й картону для пакування, зміст макулатури в сировині вже перевищує 80 %. Виготовляють також багатошарові картон і шпалери, у яких зовнішній декоративний шар з первинної сировини. Для друкування багатьох центральних газет використовують тонкий якісний папір, який виготовлений з ~70 % додаванням макулатури. Такий папір використовують для друкування різних буклетів, а також для виготовлення блокнотів, паперу для написання, конвертів і квитків.

*1 тонна макулатури заощаджує в середньому майже 4 м<sup>3</sup> деревини, що зберігає 12-14 дерев.* Причому виробництва, які переробляють макулатуру, екологічно чисті та дозволяють заощаджувати воду та електроенергію. При відділенні паперу важливо відокремити домішки пластмаси, яка надходить від плівки, використаної для пакування журналів і конвертів. Так само треба піддавати сортуванню шматочки картону, їх не можна домішувати до паперу. Кількість відсортованих фракцій може бути різною. Наприклад, сортувальний пункт у м. Хелсінгборгі, Швеція відокремлює 17 фракцій паперу.

### **Пластмаса**

Швидкий розвиток хімічної промисловості в останні десятиріччя створив передумови для швидкого розширення виробництва пластмас і їх вживання практично в усіх галузях народного господарства. Висока хімічна та механічна стійкість, діелектричні показники, низька щільність (приблизно в 3...10 раз менше щільності металів) і досить невелика трудомісткість їх виробництва (особливо для виготовлення деталей лиття), – це тільки частина факторів, через які в різних галузях промисловості та у народному господарстві безперервно збільшується питома вага виробів, виготовлених із пластмас.

Вторинна пластмаса – одна із самих великих груп відходів. Вона утворюється при виготовленні виробів із пластмаси, а також в побуті – пакувальний матеріал (пакети, пляшки, коробки), посуд, ящики та ін. Переробка відходів пластмаси вимагає дуже ретельного попереднього сортування за видами (бажано і за кольорами). Це звичайно, дорого та трудомістко. Також потрібно відокремити інші матеріали. Так, наприклад, пляшки поліетилентерефталата (PET) приймають для переробки, якщо на них

немає поліетиленових (PE) або полівінілхлоридових (PVH) кришок, зняті етикетки та змитий клей. Таким чином, витрати на збір і сортування таких відходів становлять саму більшу частину з загальних витрат. Часто важливо розсортувати чистий матеріал, наприклад, відокремити PVH від PET. Якщо, переробляючи PET, попадаються домішки PVH, вони можуть утворити в процесі HCl, яка викликає корозію металевих частин пристроїв.

У наступних табл. 4.23, 4.24 [40] представлені рівні переробки паперу та скла в ряді європейських країн.

Таблиця 4.23

Рівень переробки паперу в країнах ЄС, % до загального обсягу виробництва [40]

Країна	Рік				
	1996	1997	1998	1999	2000
Австрія	71	69	65	66	66
Бельгія	43	45	48	55	52
Чехія	38	33	38	39	42
Данія	52	51	52	52	48
Фінляндія	62	61	63	65	67
Франція	42	41	43	46	50
Германія	71	72	70	73	70
Греція	29	33	21	31	35
Венгрія	49	26	...	55	38
Ірландія	11	12	12	10	10
Італія	31	32	33	35	37
Люксембург	–	–	–	–	–
Нідерланди	65	58	58	57	45
Норвегія	40	44	–	–	–
Польща	13	3	2	2	–
Португалія	39	40	42	46	–
Словакія	33	34	–	41	40
Іспанія	41	42	43	46	48
Швеція	57	62	64	61	63
Швейцарія	67	63	65	64	63
Великобританія <sup>2</sup>	39	41	40	40	41
ЄС <sup>3</sup>	48	49	49	51	51

У більшості держав при переробці відходів пластмаси використано два методи: вторинна переробка та термічна переробка – спалювання. Правда, відходи пластмаси доцільно спалювати тільки в тому випадку, якщо їх неможливо реалізувати для вторинної переробки (з 1 т відходів пластмаси можна отримати стільки енергії, як при спалюванні 1 т нафти). Якість вторинної пластмаси більш погана в порівнянні з первинними полімерами, тому їх приєднують до первинних в обмеженій кількості. Тільки такі вироби, у яких міцність і стійкість не є визначальним показником якості та використання, виготовляють повністю з пластмаси, отриманої вторинно.

У цілому по європейських країнах обсяг перероблених пакувальних матеріалів (пластик, папір, скло та метал) збільшується. Основними шляхами вторинного використання відходів є виготовлення з них нового пакування (наприклад, у Німеччині й Австрії) і спалювання для виробництва енергії (спосіб широко застосовується в Данії та Нідерландах).

Згідно змінам, внесеними в Директиву по відходам пакування в 2004 р., у майбутньому країни ЄС повинні будуть значно скоротити обсяги відходів, що спалюються, та збільшити частину, що йде на вторинну переробку. У цілому, за період 1997...2001 рр. загальний рівень вторинної переробки відходів упакування в ЄС виріс із 46 % до 53 %, обсяг похованих відходів знизився з 47 % до 40 %.

Таблиця 4.24

*Рівень переробки скла в країнах ЄС, в % до загального обсягу виробництва[40]*

Країна	Рік				
	1996	1997	1998	1999	2000
Австрія	–	88	86	84	84
Бельгія	66	75	–	–	87
Чехія	–	–	–	–	–
Данія	66	70	63	63	65
Фінляндія	63	62	69	78	69
Франція	50	52	55	55	55
Германія	79	79	81	81	83
Греція	29	27	26	25	26
Венгрія	–	–	–	14	–
Ірландія	46	38	37	35	35
Італія	53	34	37	41	40
Люксембург	–	–	–	–	–
Нідерланди <sup>4</sup>	81	82	84	91	78
Норвегія	75	76	81	83	85
Польща	–	–	–	–	–
Португалія	42	44	42	42	40
Словакія	–	40	–	–	–
Іспанія	35	37	41	40	31
Швеція	72	76	84	84	86
Швейцарія	89	91	91	93	91
Великобританія	26	25	26	–	–
ЄС <sup>5</sup>	–	53	–	–	54

<sup>2</sup> В 2004 р. у Великобританії збільшили споживання макулатури в якості сировини на 2 % у порівнянні з 2003 р. Загальний обсяг використаної вторинної сировини склав 4,6 млн т. У цілому, за даними Конфедерації целюлозно-паперової промисловості Великобританії, використаний папір становить до 68 % загального обсягу сировини, споживаного підприємствами галузі.

<sup>3</sup> Крім Люксембургу.

<sup>4</sup> Обсяг відходів прозорого листового скла, зібраного для вторинної переробки в Нідерландах в 2004 р., на 45 % перевищив обсяги 2003 р. (було зібрано 54 600 т і 37 700 т відповідно).

<sup>5</sup> Крім Люксембургу.

Оцінювалися муніципальні відходи, відходи, що надходять на полігони та інші відходи, що утворюються при економічній діяльності, а також відходи домашніх господарств. Дані не включають обсяги паперу та скла, перероблені безпосередньо на виробництвах (т. зв. "внутрішня вторинна переробка").

Деякі країни в останні роки показують непогані результати переробки інших видів відходів:

– у Швейцарії зростає рівень переробки портативних елементів живлення (батареєнок). В 2004 р. у країні було вторинно перероблено 66,6 % використаних батарейок, що на 2,1 % більше, ніж в 2003 р. В абсолютному вираженні, з 3 800 т елементів живлення на вторинну переробку направлено 2 500 т. У найближчій перспективі, виробники та переробники елементів живлення планують довести цей рівень переробки до 80 %;

– в м. Линц, Австрія, налагоджується виробництво енерго-пеллет з відходів пластику для використання їх в якості відновника в доменних печах. У листопаді 2005 р. було зроблено 30 000 т таких пеллет. Планова потужність виробництва – 220 000 т пеллет у рік. Ряд досліджень показав, що переробка відходів дозволяє заощаджувати в 3...5 раз більше енергії, яку можна одержати, спалюючи їх.

#### **Сортування несортованих відходів для одержання палива.**

Відходи, що спалюються, як паливна сировина складаються з різних горючих матеріалів, які спеціально оброблені, щоб відповідати вимогам законодавства та промисловості про теплоємність і повернення енергії, як паливна сировина. Паливо з відходів містить залишки від переробки побутових відходів, промислових відходів, мулу після очищення стічних вод, промислових небезпечних відходів, відходів біомаси та ін.

Несортовані побутові відходи не спалюються, поки не будуть додатково оброблені – відсіяні, відсортовані, змішані, для збільшення їх теплотворної спроможності.

Відходи відсівають, щоб видалити фракції, які не спалюються та фракції, які доцільно використовувати інакше:

– матеріали, використані для вторинної переробки (залізовмісні метали, алюміній);

– інертна фракція (скло, кераміка);

– біологічна фракція, що переробляється (кухонні відходи, відходи садів і парків).

Далі такі відсіяні відходи ще раз сортують, щоб забрати шматки більше 15 см у діаметрі, які потрібно роздрібнити. Середню фракцію, яка містить папір, картон, дерево, пластмасу, текстиль, можна спалювати відразу, як паливо низької якості, або ж висушити та спресувати в гранули як щільне паливо.

У більшості європейських країн фракції відходів, які утворилися після збору та сортування, – та не піддаються вторинній переробці, направляються на підприємства, що спеціалізуються на виробництві палива (**Refuse Derived Fuel — RDF**) з відходів, так званих *пеллет*, рис. 4.8, 4.9 [38–40].

Є два можливі способи поводження з відходами: **сортування та роздільний збір у населення** або **безпосереднє сортування змішаних відходів** на спеціальному підприємстві.

Перша модель, на жаль, придатна тільки у невеликих населених пунктах із чисельністю населення, що не перевищує 5000...8000 мешканців, і вимагає великої роз'яснювальної роботи.

У той час як друга модель являє собою оптимальне рішення для великих міст і є найпростішим і найшвидшим способом досягнення цілей охорони навколишнього середовища.

У випадку другої моделі – сортування на спеціальному підприємстві – створення структур, здатних переробити ТПВ в стабільну органічну фракцію, інертні фракції, метали та паливо (RDF) для виробітку енергії, змогло б стати стратегічним розв'язком для тих областей, де неможливо організувати роздільний збір відходів.



Рис. 4.8 – Загальний вигляд RDF– пеллет (фото) [39]

Таблиця 4.25

Мінімальні характеристики RDF-пеллет у відповідності до італійського законодавства [38]

Найбільш низька теплотворна спроможність	кДж/кг	15000
Вологість	макс., % за масою	25
Хлор	макс., % за масою	0,9
Сульфур	макс., % за масою	0,6
Зола	макс., % за масою	20
Pb	макс., мг/кг	200
Cr	макс., мг/кг	100
Cu	макс., мг/кг	300
Mn	макс., мг/кг	400
Ni	макс., мг/кг	40
As	макс., мг/кг	9
Cd+Hg	макс., мг/кг	7

Таблиця 4.26

Висока якість RDF-пеллет у відповідності до стандартів UNI [38]

Найбільш низька теплотворна спроможність	кДж/кг	мінімальне 19000
Вологість	макс., % за масою	15
Хлор	макс., % за масою	0,7
Зола	макс., % за масою	15
Pb	макс., мг/кг	100
As	макс., мг/кг	5
Cd	макс., мг/кг	3
інші	макс., мг/кг	...

Таблиця 4.27

Склад газу, що викидається в атмосферу при спалюванні RDF – пеллетт[38].

Сполука	Ліміти викидів, що встановлено законодавчим шляхом, мг/м <sup>3</sup>	Фактично визначені викиди, мг/м <sup>3</sup>
Зола	8	0,2
Загальний органічний карбон	8	0,11
HCl	8	1,96
SO <sub>2</sub>	40	5,38
CO	40	6,36
NO <sub>x</sub>	160	103,41



Рис. 4.9 – Технологічна схема виробництва паливних пеллет

#### 4.3.2.4. Оцінка та вибір технологій для раціонального сортування ТПВ

Як відзначено вище, ТПВ являють собою гетерогенну суміш органічних і неорганічних компонентів різноманітного морфологічного складу: чорні й кольорові метали, макулатура, текстильні компоненти, склобій, кераміка, пластмаса, харчові та рослинні відходи, камені, кості, шкіра, гума, дерево, вуличне сміття та ін. Багато з них, зокрема, метали, попадають у категорію відходів після разового використання.

Збагачення твердих побутових відходів має свою специфіку у виборі як процесів, так і апаратів [3, 16, 19–21, 59, 60]. Навіть процеси, ідентичні для інших об'єктів збагачення, стосовно до ТПВ характеризуються своїм режимом, мають відмітні деталі й особливості. У той же час деякі пристрої та технологічні операції, які використовуються при збагаченні ТПВ, можуть бути застосовані при збагаченні вихідної сировини.

Число збагачувальних операцій, їх вид і послідовність в технологічній схемі залежить від морфологічного та гранулометричного складу, вологості відходів, які визначаються завданнями сортування в кожному конкретному випадку і закономірностями збагачення сировинних матеріалів.

Узагальнення досвіду промислової практики сортування ТПВ показує, що якість виділених при механізованому сортуванні продуктів, за винятком металів, нижче, ніж при ручному сортуванні, внаслідок чого макулатура (у складі легкої фракції), склобій та ін. збуваються із труднощами. Із цих позицій, а також з обліком реальної цінності матеріалу та умов ринку, в якості основних корисних компонентів ТПВ при використанні механізованого сортування слід розглядати в основному чорні й кольорові метали, зміст яких в ТПВ постійно зростає (щорічно в російські ТПВ попадає та безповоротно губиться близько 1,5 млн. т сталі та близько 300 тис. т кольорових металів). Метали необхідно

виділяти також тому, щоб вони не попадали в процеси спалювання та ферментації.

Виходячи із цього, загальна раціональна схема механізованого сортування ТПВ повинна передбачати [16, 72]:

- добування в самостійні продукти чорних і кольорових металів;
- поділ потоку відходів на дві фракції – горючу та таку, що піддається біологічному розкладанню (відповідно для термообробки, біообробки або депонування);
- видалення небезпечних компонентів і частини баластових компонентів.

Порівняння та вибір технологічних схем сортування ТПВ за критеріальною оцінкою ускладнені, тому що не всі схеми мають однакове цільове призначення та не рівною мірою враховують закономірність збагачення сировинних матеріалів.

У закордонній практиці сортування ТПВ найбільше часто починається з операцій просіювання; окремі класи крупності цієї операції збагачуються роздільно тем або іншим методом, що в підсумку дає певний технологічний ефект (підвищення сортування, ефективність поділу).

У той же час вітчизняний досвід показує, що установка барабанного гуркоту на початку процесу недоцільна, тому що його отвори легко забиваються текстильними та вологими компонентами (практика московського спецзаводу №1, промислові випробування гуркоту в умовах Мінського сміттєпереробного заводу). Аналогічні складності відзначаються при просіванні вихідних ТПВ по класу 70...100 мм на заводах у Франції та Швейцарії. Враховуючи специфічність вітчизняних ТПВ, механічний перенос західних технологій сортування в російські або українські умови не є оптимальним розв'язком.

Таким чином, будь-яку західну технологію необхідно адаптувати до місцевих умов з обліком технологічних властивостей ТПВ, відзначених вище.

Нижче наведено перелік схем різних фірм з різних країн, які були запропоновані для використання у м. Москва, Росія [40, 73]. Їх критичний аналіз дозволив відмітити деякі недоліки, на які було б доцільно звернути увагу, наприклад при реалізації таких проектів в Україні.

На рис. 4.10 наведена технологічна схема сортування ТПВ фірми "Orfa", Швейцарія.

Технологія сортування за цією схемою відпрацьована у Швейцарії на експериментальному заводі продуктивністю 4 т/годину та продана в чотири країни – Японію (де вже побудований експериментальний завод), Іспанію, Чехію та Польщу; в 1997 р. технологія запропонована Уряду Москви для розв'язку проблеми переробки ТПВ. Зразкова вартість устаткування для сортування ~ 35 млн. \$ США (продуктивність 250 т/рік).

Ціль розглянутої технології – переробка ТПВ тільки методами сепарації, без використання яких-небудь інших методів. Сутність технології полягає в дробленні всієї маси вихідних ТПВ до крупності менш 120 мм, магнітної сепарації дробленого продукту, просіюванні немагнітної фракції по класу 10 мм



із наступним дробленням великої фракції до розміру менш 10 мм і сушінням усього матеріалу до повітряно-сухого стану (вологість – 5 %).

З висушених подрібнених відходів із застосуванням різних методів збагачення (магнітна, електрична сепарація, аеросепарація, просіювання, гравітаційна сепарація) виділяють два готові продукти (чорні метали та алюміній) і три напівпродукти: легка фракція, у якій сконцентровані папір та полімерна плівка, і дві важкі фракції – скло, кераміка та камені в одній фракції, пластмаси, гума та дерево в іншій фракції.

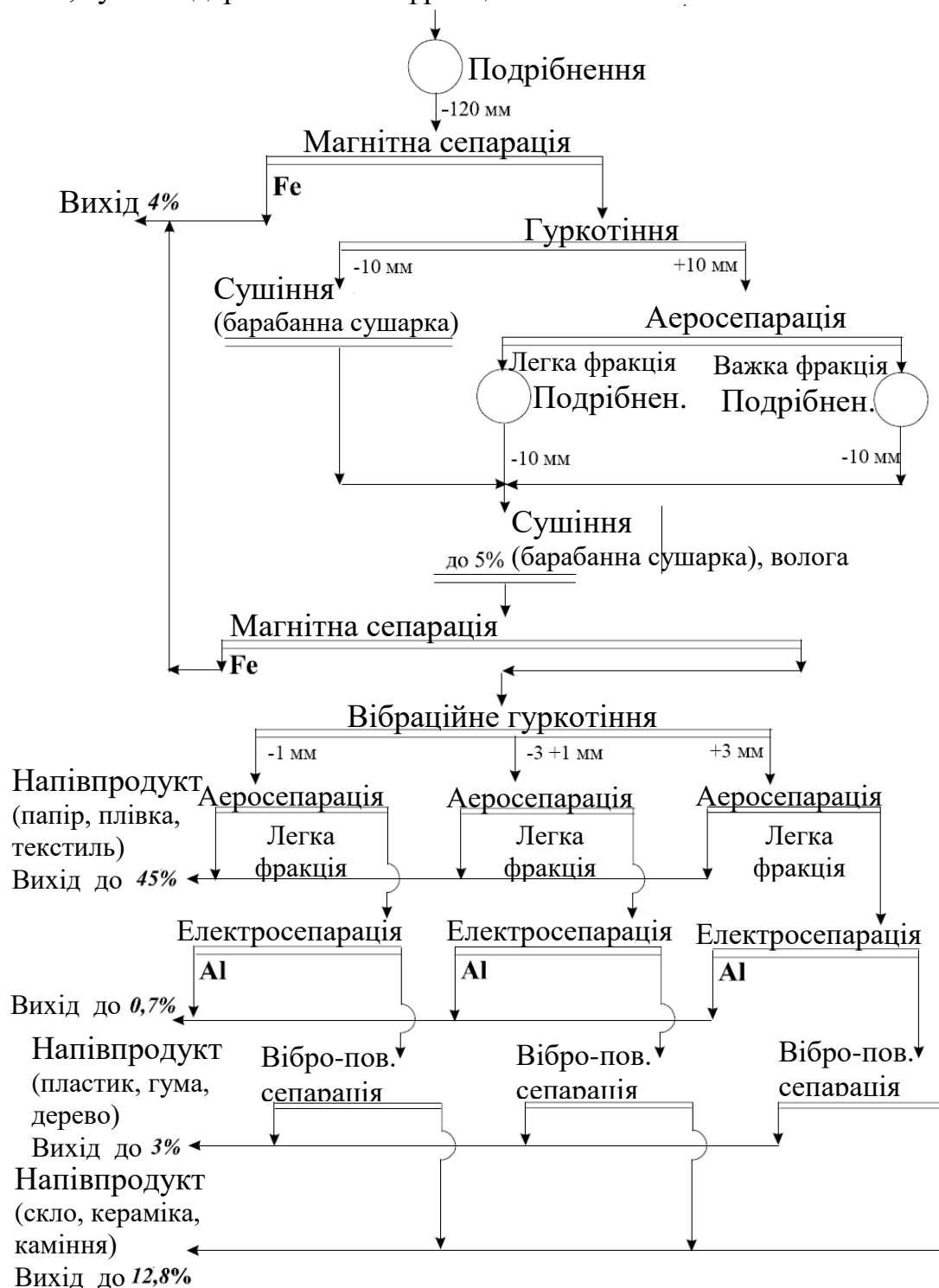


Рис. 4.10 – Технологічна схема сортування ТПВ фірми "Orfa", Швейцарія

На рис. 4.11 наведена технологічна схема сортування ТПВ, розроблена фірмою "Foster Wheeler", США та закладена в проект заводу в м. Чикаго, введеного в 1997 р. Продуктивність заводу – 500 тис. т/рік.

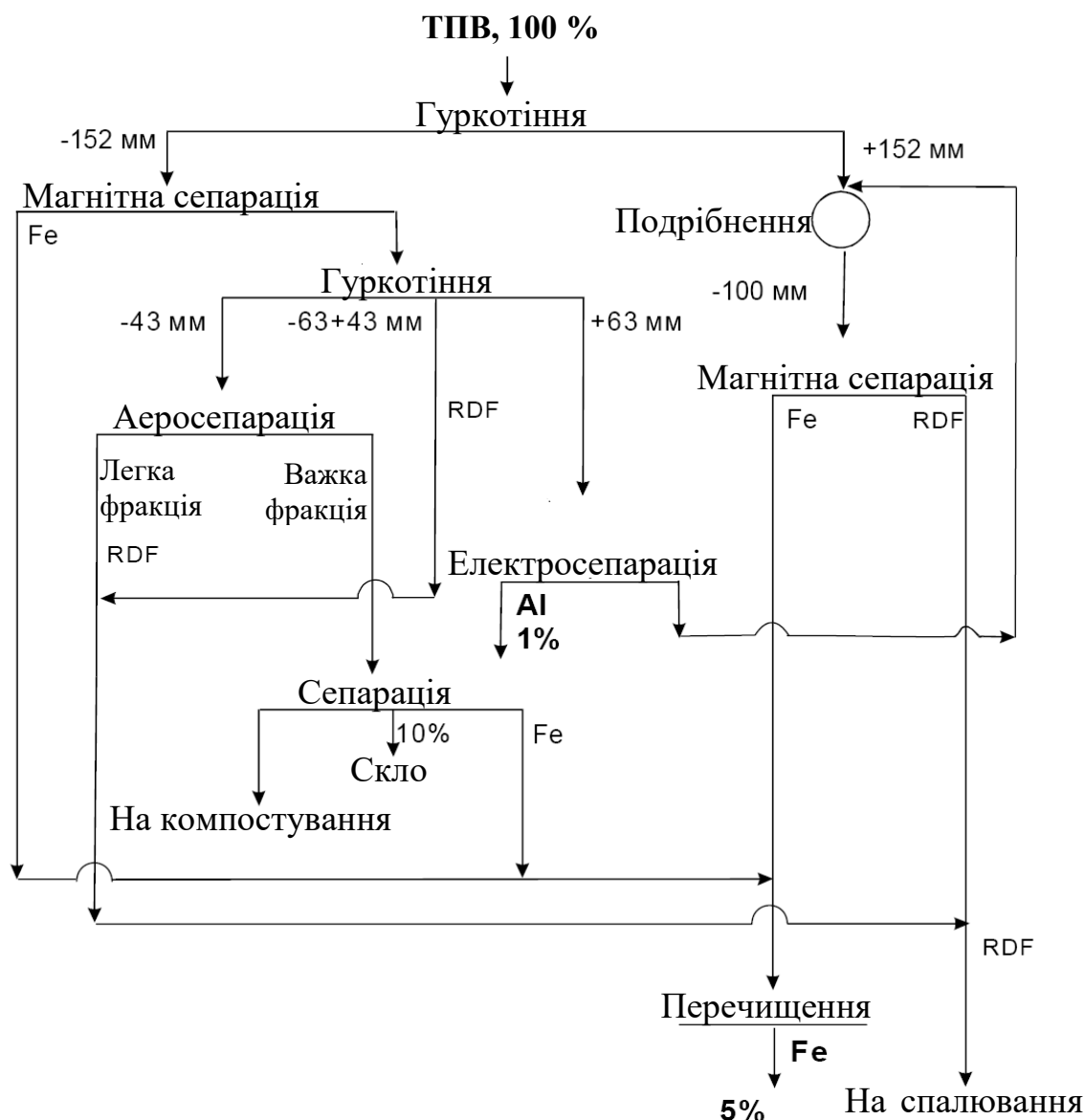


Рис. 4.11 – Технологічна схема сортування ТПВ, розроблена фірмою "Foster Wheeler", США

Аналогічна схема спроектована для заводу в м. Мілан, Італія. Як видно з рис. 4.11, цільове призначення технології сортування – максимально можливе виділення із ТПВ паливної фракції при мінімальному змісті в неї металів, інших мінеральних компонентів, а також шкідливих домішок. При цьому технологія сепарації скла фірмою не розкривається. Технологічна схема передбачає просіювання по досить дрібних класах крупності: 152 мм (вихідні ТПВ) і 43 мм (просіювання немагнітної фракції). Це можна пояснити морфологічним складом вихідних ТПВ, які містять усього 7 % харчових і рослинних відходів, що специфічно для ТПВ США.

Слід зазначити, що при введенні заводу в експлуатацію освоєння технології вторинного просіювання було пов'язане з певними труднощами – знижена ефективність, забивання отворів барабанного гуркоти.

Оригінально вирішене питання отримання кольорових металів з фракції, в якій вони в основному концентруються (клас – 152+63 мм); невеликий вихід цієї фракції повинен полегшувати регулювання товщини потоку відходів в процесі електродинамічної сепарації (за умови ефективності операції просіювання).

Можна зробити висновок, що просівання ТПВ по класу 150 мм неприйнятно. За даними практики, неприйнятне просівання навіть по класу 250 мм; тим більше неможливо реалізувати просівання по класу 40 мм. При вирішенні в наших умовах завдання переважно енергетичного використання ТПВ технологічна схема сортування повинна бути іншою, оскільки зміст у вихідних ТПВ харчових і рослинних відходів у середньому становить 35 % (а не 7 %, як у США), і вони концентруються не тільки у важкій фракції.

Особливістю технологічної схеми є операція поділу плівки та паперу. Для поділу цих компонентів застосовується вибіркоче дроблення, що використовує відмінність в еластичності плівки та паперу (на технологічній схемі операція подрібнення не показана), потім просівання в барабанному гуркоті по класу 200 мм і потім – повітряна сепарація класу +200 мм; вихід легкої фракції повітряної сепарації 1...1,5%, вона переважно містить плівку (присутні домішки паперу). У клас – 200 мм просівання переважно попадає папір, він направляється на виробництво паливних брикетів.

У цілому аналізована технологічна схема ефективна по відношенню до італійських умов утворення ТПВ, – працездатна та надійна. Її основні недоліки наступні:

- одностадійна магнітна сепарація, що не забезпечує високе добування чорного металу;
- відсутність перечищення магнітного концентрату, у зв'язку із чим чорний метал забруднений домішками;
- повна втрата кольорових металів;
- відносно невисока ефективність повітряної сепарації ТПВ, розрахована на сортування переважно сухих відходів.

Очевидно, запозичити цю схему цілком при проектуванні технології сепарації українських ТПВ недоцільно, заслуговують на увагу лише окремі технологічні операції.

Розглядалась також технологічна схема сортування ТПВ фірми "Sorain Ceschini", Італія. В цій фірмі розробили перші промислові технології механізованого сортування ТПВ. Перші заводи, на яких здійснювалося сортування ТПВ, були введені в експлуатацію в м. Рим ще в середині 60-х рр. ХХ ст. (всесвітньо відомі заводи, що припинили своє функціонування в 1987 р., що як морально застарілі та такі, що не відповідають екологічним нормам і вимогам). У цей час заводи цієї фірми функціонують у м. Перуджа та м. Фоліно). Фірма "Sorain Ceschini" продала ліцензії на свою технологію в скандинавські країни, Швейцарію, Югославію, Чехію, Бразилію, Венесуелу.

Технологія сортування фірми "Sorain Cecchini" передбачає виділення чотирьох продуктів: чорного металу, збагаченої органічної фракції для компостування, пластикових відходів (для регенерації) і фракції, що містить целюлозу (для виробництва RDF).

Сортування ТПВ, традиційно для європейських заводів починається з операції просіювання в барабанному гуркоті з отворами 100 мм (вихідні ТПВ, що доставляються на завод у поліетиленових мішках, характеризуються невисокою вологістю та низьким вмістом текстильних компонентів). Фракція 100 мм проходить другу стадію просіювання в барабанному гуркоті (по класу 10 мм) і направляється на компостування; фракція 10 мм є відвальною, на вид вона представляє землястий продукт. Вихід збагаченої органічної фракції, що направляється на компостування – близько 25 % по масі (від вихідного). Фракцію +100 мм піддають одностадійній магнітній сепарації та потім – повітряній сепарації (у місці перевантаження з конвеєра на конвеєр матеріал піддають дії потоку повітря, що відсмоктує, – легкі компоненти при цьому засмоктуються повітрям і виносяться в циклон).

На рис. 4.12 наведена технологічна схема сортування ТПВ фірми "Asahi Juken", Японія. Вона була запропонована для реалізації в Москві в 1997 р. (як складова частина схеми комплексної переробки ТПВ).

Технологія передбачає просівання вихідних ТПВ по класу 50 мм і 200 мм у барабанному гуркоті, наступну роздільну магнітну сепарацію дрібних класів (–50 мм і –200...+50 мм) і ручне сортування великої фракції (+200 мм). У процесі ручного сортування фракції +200 мм передбачається виділяти суміш пластмасових відходів і кольоровий метал. Аналогічно, ручне сортування передбачене для середньої фракції –200...+50 мм. Відходи ручного сортування (і великі відходи після дроблення) піддають магнітній сепарації, "хвости" якої надходять на подрібнення. Потім вони поступають на повітряну сепарацію з виділенням легкої фракції для виробництва етанолу, – важка фракція повітряної сепарації є відвальною.

Із хвостів магнітної сепарації самих дрібних класів первинного просівання (–50 мм) також за допомогою повітряної сепарації виділяють дрібну фракцію, направляючи її на виробництво етанолу.

Технологічну схему фірми "Asahi Juken" не можна вважати ефективною: к.к.д. первинного просівання по вузьким класам крупності невисокий, не виправдана реалізація магнітної сепарації в чотирьох крапках технологічної схеми, кольорові метали практично не утримуються в класі +200 мм і їх добування із цього класу планувати не можна. Не виправдане двохстадійне подрібнення класу +200 мм, значна частина харчових і рослинних відходів у виробництво етанолу не надходить і безповоротно губиться ( у вигляді важкої фракції повітряної сепарації). Ручне сортування пластмаси при її відносно невисокому вмісті у вихідних ТПВ не виправдане, реалізація змішаних пластмас проблематична. Зовсім очевидно, що практичне використання технологічної схеми для сепарації українських ТПВ недоцільно.

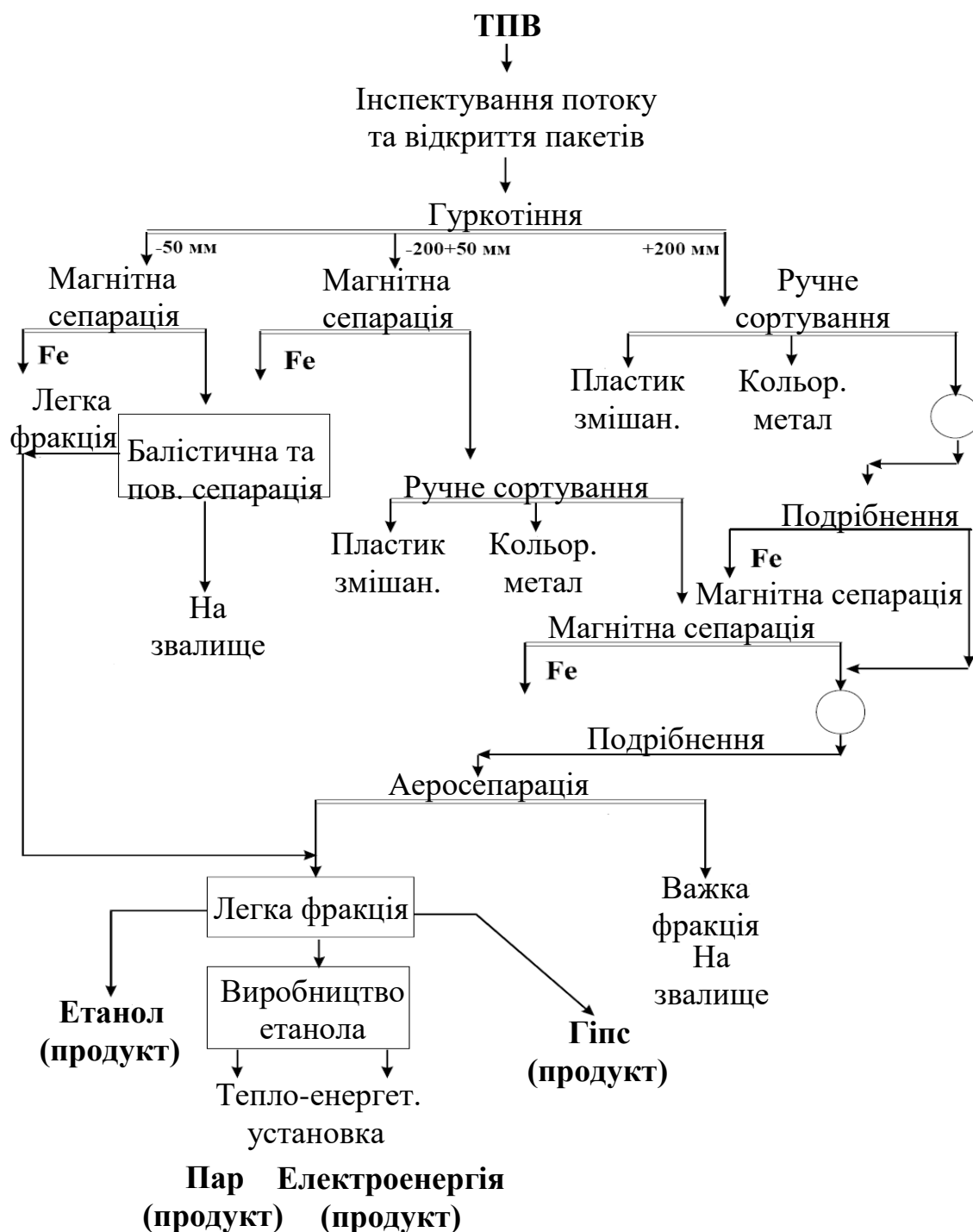


Рис. 4.12 – Технологічна схема сортування ТПВ фірми "Asahi Juken", Японія

На рис. 4.13 наведена технологічна схема сортування ТПВ на заводі в м. Кельн, Німеччина, введеного в дію наприкінці 1997 р. По суті, це перший в Германії досвід включення в технологічну схему промислової переробки ТПВ операції сортування відходів перед їх спалюванням. Цей досвід можна розглядати як подальший розвиток методів підготовки ТПВ до спалювання, який вирішувався до останнього часу в основному за рахунок організації селективного збору відходів (як корисних, так і небезпечних) у місцях їх

утвору. Як слідує з рисунку, первинне сортування вихідних ТПВ на заводі здійснюється у барабанному гуркоті по класу 80 мм і 400 мм.

Клас 80 мм (вихід – 35 %) піддається магнітній сепарації та направляється на спалювання, клас від 80 до 400 мм (вихід близько 50 %) піддають магнітній сепарації та ручному сортуванню (з відбором паперу та пластмаси) і також направляються на спалювання, клас більш 400 мм (вихід – 15 %) піддають подрібненню та спалюванню.

Технологічна схема сортування ТПВ на заводі в м. Кельн недосконала, що визнають самі німецькі фахівці, пояснюючи це невеликим досвідом у створенні технології сепарації відходів.

Основні недоліки технології: просівання по класу 80 мм неефективне; не передбачене добування кольорових металів; низьке добування чорного металу із класу 80...400 мм. В умовах нерегульованого потоку відходів великої товщини значна частина чорного металу попадає в процес спалювання та переходить у шлаки. У зв'язку з чим потрібно було б введення операції магнітної сепарації металу із шлаків вже після введення заводу в експлуатацію.

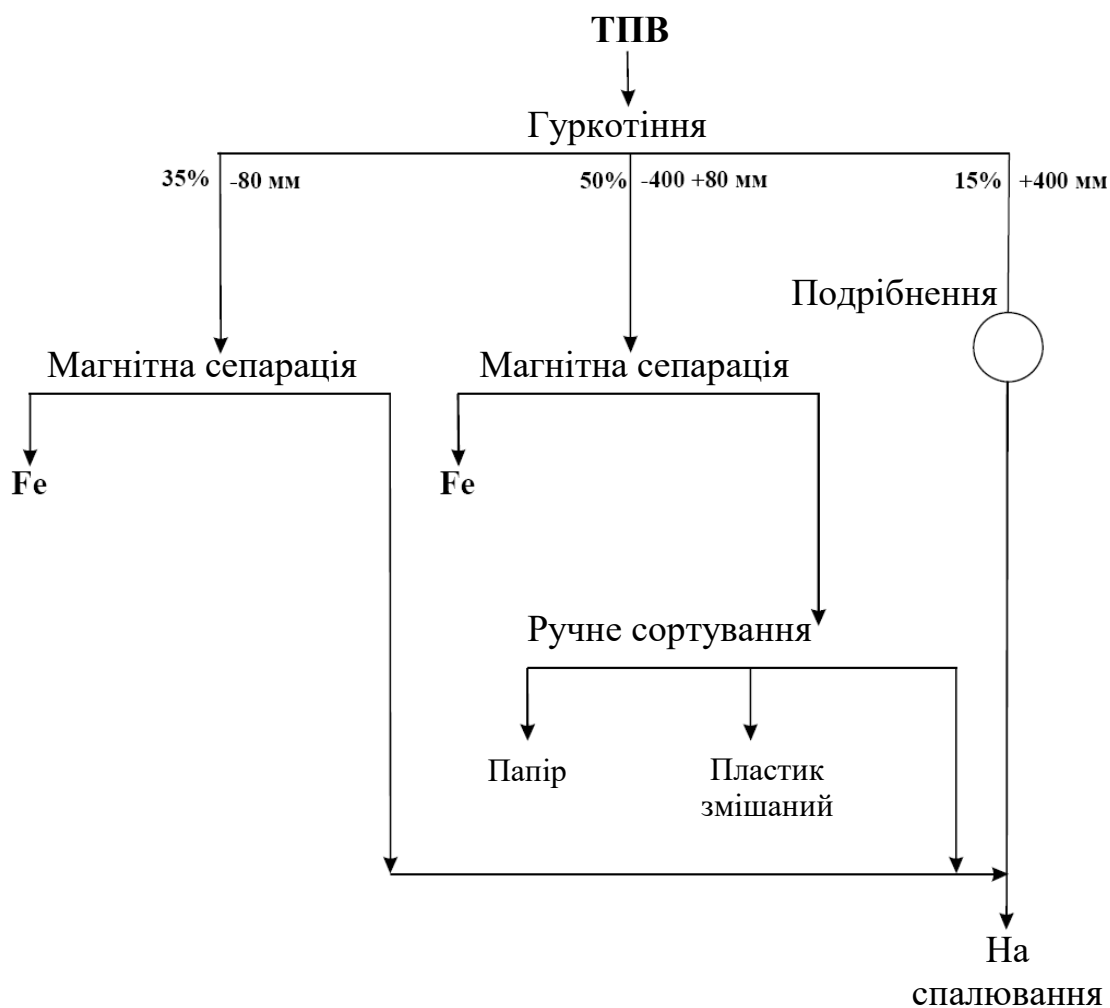


Рис. 4.13 – Технологічна схема сортування ТПВ на заводі в м. Кельн, Німеччина

Аналіз чотирьох сучасних закордонних технологій сепарації ТПВ показує, що вони не є універсальними і їх недоцільно використовувати при переробці українських ТПВ, що відрізняються більш складним складом. Можна відзначити, що в більшості випадків закордонні технології, вирішуючи приватне завдання добування тих або інших кошовних компонентів (або суміші компонентів) для комерційної реалізації, не передбачають створення умов, що забезпечують повноту добування цих компонентів, і не вирішують комплексно завдання підготовки відходів до подальшої переробки тим або іншим методом.

Практикою доведена також невисока ефективність просівання вихідних ТПВ по за класами крупності 43...63 мм. Технологічні схеми, що включають такі операції, не є оптимальними, особливо для наших ТПВ. Застосування ручної праці в технологіях сепарації ТПВ не є гідністю технології, а механізоване добування кольорових металів із ТПВ реалізоване тільки в технології фірми "Foster Wheeler".

Кращою з аналізованих є технологічна схема сепарації ТПВ фірми "Foster Wheeler", заслуговує також уваги побудова технології фірми "Sorain Cecchini" і включення в неї оригінальних операцій. Разом з тим ні одну із цих технологій недоцільно використовувати без адаптації для сепарації українських ТПВ.

Як показує аналіз, практично всі закордонні технології передбачають регулювання потоку відходів, що зазнають сепарації, з допомогою просівання. Очевидно, ефективність технології сепарації повинна бути вище, якщо для регулювання потоку відходів, що направляються на сепарацію, використовувати не тільки методи просівання (сепарація ТПВ на вузькі класи ускладнена), а також повітряну сепарацію, що розділяє потік ТПВ на легку та важку фракції. Повітряна сепарація основного потоку ТПВ є також операцією, що поліпшує санітарно-гігієнічні умови праці, що сприяє підсушуванню відходів, підвищенню повноти добування металів, відділенню інертних компонентів.

Таким чином, актуальним завданням є використання при проектуванні вітчизняних заводів працездатної, апробованої технології сепарації ТПВ, яка повною мірою враховує їхній специфічний склад, а також досягнення світової практики в цій області.

#### **4.3.3 Утилізація ТПВ на санітарних полігонах**

Незалежно від методу переробки відходів, фракції ТПВ, які переробляти складно або економічно недоцільно, – вивозяться на полігони або несанкціоновані смітники [2, 16, 24, 27, 32, 38–40, 45, 48, 51, 61, 74, 75]. Незважаючи на заходи, які проводяться та розробляються щодо їхнього усунення, вони розташовуються поблизу багатьох місць або безпосередньо в їх межах. Така картина спостерігається тому, що одним з **найпоширеніших способів видалення відходів є їхнє депонування** [2, 26, 37, 51].

Утилізації таким способом необхідно піддавати тільки ту частину відходів, яка залишається після переробки ТПВ тим або іншим способом, а також ті відходи, які сьогодні неможливо або економічно недоцільно утилізувати. Однак у дійсності депонуванню піддають значну частку відходів, які можна при досягнутому рівні технологій переробляти з великою користю для суспільства.

В усьому світі широко розповсюджені та розробляються спеціальні природоохоронні спорудження – **санітарні полігони**, призначені для складування, ізоляції та знешкодження ТПВ. Для будівництва полігонів ТПВ приділяються відпрацьовані кар'єри, яри, ділянки лісових масивів, вільні від кошовних порід дерев. Ділянки для складування вибираються на підставі геологічних, гідрологічних і топографічних досліджень вдалині від населених пунктів.

У порівнянні зі звичайним смітником, – полігон ТПВ є сучасним санітарно-гігієнічним і екологічним об'єктом.

**Полігон ТПВ** — це комплекс інженерних споруджень, призначений для складування, ізоляції та знешкодження твердих побутових відходів, який забезпечує захист від забруднень атмосфери, ґрунту, поверхневих і ґрунтових вод [2, 16, 27, 32, 38–40, 45, 48, 51, 61, 74, 75]. На полігоні забезпечується статична стійкість ТПВ з урахуванням динаміки ущільнення, мінералізації, газовиділення, максимального навантаження на одиницю площі, можливості наступного раціонального використання ділянки після закриття полігону [26, 51, 75].

Полігони ТПВ повинні забезпечувати охорону навколишнього середовища за шістьма показниками шкідливості:

- *органолептичному;*
- *загально-санітарному;*
- *фітоаккумуляційному (транслокаційному);*
- *міграційно-водному;*
- *міграційно-повітряному;*
- *санітарно-токсикологічному.*

*Органолептичний* показник шкідливості характеризує зміну запаху, присмаку і харчової цінності фітотест-рослин на прилеглих ділянках діючого полігону і територій закритого полігону, а також запаху атмосферного повітря, смаку, кольору і запаху ґрунтових і поверхневих вод.

*Загальносанітарний* показник відображає процеси зміни біологічної активності і показників самоочищення ґрунту прилеглих ділянок.

*Фітоаккумуляційний* (транслокаційний) показник характеризує процес міграції хімічних речовин з ґрунту довколишніх ділянок і території рекультивованих полігонів в культурні рослини, що використовуються як продукти харчування і фуражу (в товарну масу).

*Міграційно-водний* показник шкідливості виявляє процеси міграції хімічних речовин фільтрату ТПВ в поверхневі і підземні води.



*Міграційно-повітряний* показник відображає процеси надходження викидів в атмосферне повітря з пилом, випаровуваннями і газами.

*Санітарно-токсикологічний* показник сумарно характеризує ефект впливу чинників діючих в комплексі.

У країнах ЄС полігони для депонування відходів підрозділяються на полігони для небезпечних, побутових та інертних відходів [39, 40, 45].

Дана класифікація значною мірою є умовною, тому що не завжди можна провести чітку грань між небезпечними, безпечними та інертними відходами, оскільки ця грань може змінюватися в часі під впливом різних факторів.

Депонування ТПВ у Росії повинні відповідати санітарним правилам, передбаченим "Гигиеническими требованиями к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов (СП 2.1.7.722 - 98)", розробленим НДІ екології людини та гігієни навколишнього середовища ім. А.Н. Сисіна [32, 38–40].

При проектуванні полігонів необхідно керуватися СНіП 2.01.28 – 85 "Полігони по знешкодженню та депонуванню токсичних відходів. Загальні положення по проектуванню", згідно з якими депонуванню на полігонах підлягають токсичні відходи, які не можливо утилізувати I, II і III класів, тобто надзвичайно небезпечні, високонебезпечні та помірно небезпечні.

При організації полігонів для депонування відходів важливе значення мають:

- правильний вибір майданчика;
- створення необхідних інженерних споруджень;
- порядок заповнення полігона відходами;
- глибина попередньої обробки відходів;
- проведення моніторингу навколишнього середовища;
- контроль над утворенням, збором і транспортуванням звалищного газу;
- контроль над утворенням, збором і видаленням фільтрату.

Відповідно до сучасних вимог депонування відходів повинне бути обладнане наступними окремими інженерними спорудженнями [36, 75]:

- ущільненою підставою з мінеральних шарів у комбінації зі штучними матеріалами;
- проїздами;
- спорудженнями по збору інфільтраційної води та її очищенню;
- спорудженнями по збору та утилізації газу, що виділяється;
- спорудженнями по захисту ландшафту рекультивацією земель.

Полігони розміщують у вільних від забудови, відкритих, добре провітрюваних незатоплюваних місцях, на яких можливе виконання необхідних інженерних робіт. Навколо полігона на відстані не менш 3000 м повинна бути створена санітарно-захисна зона.

Полігон може розташовуватися на відстані не менш 200 м від сільськогосподарських угідь і транзитних магістральних доріг і не менш 50 м від лісових масивів.

Місце депонування має бути розташоване на незначному видаленні від головних транспортних магістралей і бути пов'язане з ними дорогою хорошої якості.

Дефіцит площі для депонування відходів поблизу великих міст можна зменшити шляхом організації мережі перевантажувальних станцій, де відходи будуть сортуватися, подрібнюватися та накопичуватися за видами. Це дозволить скоротити їхній обсяг і використовувати для депонування більш вилучені полігони.

**Полігони розміщують** на ділянках із ґрунтами, що мають погані фільтруючі властивості (глина, суглинок, сланці та ін.), при коефіцієнті фільтрації не більш 0,00001 см/с. Рівень ґрунтових вод при їхньому найбільшому підйомі повинен становити не менш 2 м від нижнього рівня відходів.

Головними **конструктивними елементами ділянки депонування відходів** є герметична підстава, дренажний шар для фільтрату та верхнє покриття. Для забезпечення герметичності застосовують мінеральні (глиняні) покриття, полімерні плівкові матеріали (наприклад, поліетилен високого тиску), покриття з асфальтобетону, а також посилення ґрунту бентонітом.

Депонування повинне бути обладнане надійною системою збору та видалення фільтрату. Для забезпечення якісного дренажу на всю підставу сховища поверх герметичного покриття укладають шар якого-небудь фільтруючого матеріалу, наприклад щебеню.

Для забезпечення надійного контролю, регулювання та обмеження виділення із сховища звалищного газу важливе значення має верхнє покриття, яке також виготовляється з мінеральної сировини (глини) або з полімерної плівки. Дренажні труби розміщують на відстані не більш 20 м друг від друга.

Перед організацією полігона слід обов'язково визначити склад відходів. Він впливає на обсяг інженерних заходів, які необхідно виконати при створенні впорядкованого депонування, що відповідає вимогам охорони навколишнього середовища.

*Існують два основні типи депонування: наземне та підземне [36–37, 40, 75].*

*Підземні депонування* – шахти, порожнечі, шпари, старі нафтові поля та ін. – використовуються в основному для розміщення небезпечних і радіоактивних відходів.

*Наземні депонування* різних видів (*відвальні, на схилах, в котлованах*) використовують для розміщення побутового та будівельного сміття, а також промислових відходів з точно врахованим невеликим вмістом токсичних компонентів.

*Депонування відвального типу* мають наступні переваги:

- підстава депонування розташована на земній поверхні;
- можливість ефективного контролю над ущільненням розташованого матеріалу;
- відвід вод відбувається без використання насосів;
- можливість контролю над станом дренажних систем.

Недоліки об'єктів депонування відвального типу:

- складність оцінки стійкості укосів, особливо при значній висоті депонування;
- значні напруги на здвиг матеріалу;
- необхідність використання спеціальних будівельних конструкцій для підвищення стійкості депонування;
- естетичне навантаження на ландшафт.

*Депонування на схилах* на відміну від розглянутих об'єктів депонування відвального типу вимагають додаткового захисту "тіла депонування" від сповзання і від змиву водою, що стікає по схилу. Захист здійснюється за допомогою будівельних конструкцій.

*Депонування в котлованах та кар'єрах* меншою мірою впливає на ландшафт і не створює небезпеки, пов'язаної зі стійкістю. Однак воно вимагає відводу вод за допомогою насосів, тому що підстава розташована нижче поверхні землі. Таке депонування створює додаткові труднощі для гідроізоляції бічних схилів і підстави депонування відходів, а також вимагає постійного контролю над дренажними системами.

*Депонування в підземних бункерах* за всіма параметрами більш зручні та екологічно чисті, однак через значні капітальні витрати на їхнє спорудження вони можуть використовуватися тільки для видалення невеликих кількостей відходів. Підземне депонування широко використовується для ізоляції радіоактивних відходів, тому що дозволяє за певних умов забезпечити радіоекологічну безпеку на весь необхідний період і є найбільш економічно ефективним способом поводження з ними. Не вдаючись у подробиці організації підземних сховищ радіоактивних відходів, слід помітити, що найбільш складною є проблема вибору місця депонування з оптимальними геологічними умовами.

Укладання відходів на полігоні повинне здійснюватися шарами товщиною не більш 2 м при обов'язковому ущільненні, що забезпечує найбільшу компактність і відсутність порожнеч, так як це особливо важливо при похованні великогабаритних відходів.

Ущільнення відходів при похованні необхідно не тільки для максимального використання вільного простору, але для зменшення наступного осідання тіла депонування. Крім того, пухке "тіло депонування", що має щільність нижче  $0,6 \text{ т/м}^3$ , ускладнює контроль над *фільтратом*, тому що в ньому неминуче виникає безліч каналів, що ускладнюють його збір і видалення.

Ступінь компактності відходів залежить від устаткування, морфологічного складу, властивостей відходів та способу їх розміщення. Для ущільнення відходів застосовують звичайні дорожні машини, такі як бульдозери на гусеничному ході потужністю від 50 до 120 кВт, котки КМ-305, а також спеціальні важкі компактори зі сталевими зубчастими колесами. Використання компакторів дозволяє ущільнювати "тіло депонування" до  $0,7 - 0,8 \text{ т/м}^3$ .

Пошарове перекриття всієї підстави невеликими шарами відходів рівномірної товщини більш доцільно, ніж укладання відходів на всю висоту

депонування, але на окремих ділянках. Однак іноді, насамперед з економічних міркувань, сховище заповнюють по секціям. Основними причинами секційного заповнення є необхідність поділу різних типів відходів у межах одного полігона, а також прагнення до зменшення площ, на яких утворюється фільтрат.

*Термін служби полігону ТПВ повинен бути не більше 15...20 років [36, 75].* Якщо існуюча ділянка полігона не відповідає вимогам охорони навколишнього середовища або її розмір не забезпечує приймання ТПВ на майбутні 20...25 років, то розташовують полігон на новій ділянці, яка відповідає всім вимогам.

Розміщати полігони необхідно з урахуванням вимог санітарних норм, з видаленням від найближчої житлової забудови на відстань не менше 500 м. ***Категорично забороняється використовувати під полігони акваторії річок, озер, боліт.***

Площа ділянки складування полігона розбивається на черзі експлуатації з розрахунку 3...5 років на кожен чергу. У складі першої черги виділяється перший пусковий комплекс із обсягом складування протягом 1...2 років.

Біологічне знезаражування ТПВ при похованні їх на полігонах здійснюється таким способом: з санітарно-епідеміологічних поглядів, покладений шар відходів після ущільнення та компактування повинен пересипатися ґрунтом або іншим інертним матеріалом. Це дозволяє знизити небезпеку переносу інфекцій гризунами та птахами, а також виключити органолептичне та ін. забруднення місцевості. При значних площах полігона укриття ґрунтом не завжди виконується через технічні та економічні труднощі. Більш вигідне використання для тимчасового укриття "тіла депонування" полімерних плівок, синтетичних пін, що руйнуються та інших матеріалів.

Захист від забруднення ґрунтів і ґрунтових вод здійснюється спеціальним протифільтраційним екраном, по всьому днищу та бортам полігона, системи перехоплення, відводу та очищення фільтрату, а також системи свердловин для контролю якості ґрунтових вод.

Захист поверхневих водних об'єктів від забруднення зливовими і талими водами, які стікають по території полігону, обмеженою лісосмугою, здійснюється шляхом очищення поверхневого стоку на майданчику "біоплато" і відводом транзитних поверхневих вод.

Після завершення укладання ТПВ "тіла депонування" необхідно провести гідроізоляцію поверхні та рекультивацію земель. Такі депонування повинні бути захищені від подальшого проникнення опадів і талих вод. Такі операції проводять не одразу після завершення депонування, а після закінчення біологічних процесів у його "тілі" та повного припинення виділення газів. Інакше, закриті депонування може перетворитися в бомбу сповільненої дії[76].

При оцінці стійкості "тіла депонування" слід розрізняти *зовнішню та внутрішню стійкість*[1, 45].

Під *внутрішньою стійкістю* розуміють стан самого "тіла депонування" (стійкість бортів, стійкість до спучування). Під *зовнішньою стійкістю* розуміють стійкість підстави депонування (осідання, роздавлювання).

Недостатня стійкість може ушкодити дренажну систему та гідроізоляцію. Осідання можливе за наступними причинами: витиснення води з вологих відходів; збільшення обсягу порожнеч внаслідок видалення звалищного газу, який утворюється в результаті мікробіологічних процесів; подрібнення та ущільнення відходів за рахунок механічних навантажень.

Важливим елементом управління полігоном депонування відходів є моніторинг навколишнього середовища, метою якого є визначення будь-яких небажаних видів впливу. Об'єктами моніторингу є повітря та звалищний газ, ґрунтові води та фільтрат, ґрунт та "тіло депонування". Обсяг моніторингу залежить від виду відходів і призначення полігона. Життєвий цикл полігона депонування ТПВ з періодом більш 1000 років, запропонований в [1], ураховує принцип "вічного" депонування відходів (табл. 4.28).

На інвестиційному етапі обирається ділянка під полігон депонування ТПВ, будуються інженерні спорудження: захисний екран, дренажна система та ін. Експлуатаційний – основний період, під час якого здійснюється приймання відходів на полігон. За цією концепцією метою керування полігоном є збільшення експлуатаційного періоду полігона. На рекультиваційному етапі проводяться роботи по зменшенню емісійного навантаження від продуктів розкладання відходів на навколишнє середовище. На пострекультиваційному активному етапі проводиться моніторинг забруднень з об'єкта депонування ТПВ до стабілізаційного періоду.

Таблиця 4.28

Життєвий цикл полігона депонування ТПВ[1]

Кіл-ть років	Етап життєвого циклу	Використання об'єкта	Технічна діяльність
0–5	Інвестиційний	Відвід майданчика	Вишукування
5–30	Експлуатаційний	Полігон ТПВ	Складування ТПВ. Активний моніторинг
30–40	Рекультиваційний	Полігон ТПВ	Технічна й біологічна рекультивація
40 – 50	Пострекультиваційний активний	Рекреаційне (закритий полігон ТПВ)	Моніторинг
50–200	Пострекультиваційний пасивний	Рекреаційне	Моніторинг. Пасивна експлуатація
200–1000	Пострекультиваційний стабілізаційний	Рекреаційне	Моніторинг. Можлива експлуатація
1000–10000	Вічне депонування, асиміляція	Народногосподарське	Моніторинг. Експлуатація

Відома також концепція "кінцевого сховища"[40]. Згідно із цією концепцією необхідно проводити комплексні заходи щодо керування процесами утилізації відходів і їх повторного використання та розміщення на полігоні без якого-небудь несприятливого впливу на навколишнє середовище протягом тривалого часу. Такий тип полігонів визначений як "кінцеве сховище", а відходи, що перебувають у такому сховищі, мають "якість для остаточного зберігання".

Виділення з такого полігона не мають потреби в очищенні та можуть безперешкодно надходити в навколишнє середовище. Іншим важливим моментом швейцарської політики керування утилізацією відходів є те, що кожне покоління людей повинне обробити "свої" відходи так, щоб вони відповідали статусу якості для остаточного зберігання.

Таким чином, ***ТПВ повинні досягти якості остаточного зберігання приблизно через 30 років після розміщення їх на полігоні.***

В зв'язку з цією концепцією слід приділити увагу деяким прикладам в галузі поводження з ТПВ у колишньому СРСР та в Україні.

Одним з найсучасніших в колишньому СРСР був полігон для депонування та обробки промислових та господарсько-побутових відходів "Червоний Бор" під Санкт-Петербургом [38, 40]. **Полігон оточений кільцевим каналом, що відводить підземні та поверхневі води з навколишньої території в р. Велика Іжора.**

Горючі відходи спалюються на полігоні в спеціальних печах при температурі близько 1000 °С.

На полігон вивозяться осадки очисних споруджень і всі промислові відходи, за винятком радіоактивних.

Усі відходи, прийняті до депонування на полігоні, повинні мати паспорт із технічною характеристикою відходів, коротким описом заходів безпечного обігу з ними при спалюванні та депонуванні.

Полігон площею 58 га був створений в 1969 р. і розрахований на експлуатацію протягом 10...15 років, але працює дотепер. У цей час на полігоні "Червоний Бор" уже поховано 1,5 млн. т токсичних відходів, що привело до його переповнення та важкої екологічної ситуації довкола нього.

Інший приклад – полігони ТПВ в м. Одесі.

З урахуванням середньорічної норми накопичення (~ 627000 т), наведеної в [24], можна прогнозувати, що 01.01.2012 р. на території Одеси і Одеської області буде накопичено від 7221023,42 т твердих побутових і виробничих відходів. За іншими даними [2], – Державного управління екологічної безпеки в Одеській області, – щорічно утворюється понад 2,5 млн. т відходів, з яких близько 10 % відносяться до 1...3 класу небезпеки.

Ці відходи зберігаються майже на 415 [2] звалищах і накопичувачах токсичних відходів, 153 складах для збереження відходів хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР), що займають площу понад 800 га. Їх розташування та експлуатація у переважній більшості не відповідають екологічним і санітарно-гігієнічним вимогам. Завдяки чому вони є джерелом екологічної небезпеки регіонального масштабу.

Відходи складаються на несанкціонованих полігонах, у лісосмугах, уздовж залізниць, на схилах водоймищ, моря, по берегах річок тощо [28, 29]. Відходи в області збираються на 174 звалищах побутових відходів з яких 129 не відповідають нормативним вимогам (відсутні огорожа, під'їзні шляхи, механізми, персонал та ін.). ТПВ знешкоджуються на двох міських звалищах: звалище № 1 – в Дальницьких кар'єрах, в 20 км від межі міста (96,2 га, працює з 1968 р.) і звалище № 2 – в місті, в районі цементного заводу (76, 5 га).

Полігон № 1 перевантажений, експлуатація його служить постійним джерелом забруднення навколишнього середовища, викликає скарги жителів с. Нова Долина Овідіопольського району. Перевантаженість полігону порушує технологічний цикл знешкодження сміття, не вистачає спеціальної техніки та обладнання. Протягом року на полігон вивозиться понад 2,1 млн. м<sup>3</sup> твердих побутових відходів з м. Одеси, м. Іллічівська і прилеглих сіл Овідіопольського та Біляївського районів [26, 28–29].

Тимчасовий полігон № 2, де зараз збирається більшість відходів м. Одеси, вже є розташованим в межах міста та не має нормативної санітарно-захисної зони. При його організації не передбачався прийом побутових відходів, а лише будівельного сміття – для рекультивації місцевих промислових виробок [26, 28–29].

**Завдання 4.5.** Розрахувати обсяг та масу ґрунту необхідного для проведення укриття поверхні полігону ТПВ. Товщина шару ґрунту – 1 м. Полігон має форму усіченої піраміди. Розміри нижньої основи складають 100×70 м, розміри верхньої основи 20×10 м. Щільність укритого ґрунту складає 1500 кг/м<sup>3</sup>.

Обидва звалища невпорядковані і майже заповнені відходами, тому вже зараз гостро стоїть проблема переробки сміття. Накопичення ТПВ та їх самозаймання, призводить до забруднення атмосферного повітря, води, ґрунту.

Ці приклади ілюструють, що навіть у великих, всесвітньо відомих містах, як Росії так і України місцева галузь поводження з відходами знаходиться у дуже поганому стані, незважаючи на те, що такі об'єкти як звалища та полігони небезпечно впливають на усі компоненти навколишнього оточення.

*Щодо цього заслуговує на увагу німецький досвід поводження з полігонами та смітниками ТПВ.*

На початку 70-х рр. у Німеччині вийшов закон "Про відповідальність регіональних і місцевих органів влади за управління відходами", який визначив початок переходу від "диких" смітників до централізованих полігонів з депонування відходів. Адміністративні приписання до Закону "Поводження з відходами" (ТAA) і Технічне керівництво з переробки та депонування відходів (TASiS) на сьогоднішній день у Німеччині передбачають жорсткі вимоги до системи будівництва полігонів.

Саме тоді й зародилася ідея використовувати *геосинтетичні матеріали та відповідні технології* [77]. Використання таких матеріалів дозволяє збільшити корисний обсяг полігона майже на 2,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, що важливо в умовах

постійно зменшуваної площі земель близько населеного пункту, на яких можливе будівництво полігона.

#### **4.3.3.1 Використання геосинтетичних матеріалів для гідроізоляції полігонів ТПВ**

*Бентофікс* – це універсальний ізолюючий матеріал на мінеральній основі. Покриття на мінеральній основі з армованого волокна представляє собою самоізолюючу захисну мембрану з комбінованою структурою.

*Бентофікс* складається із трьох шарів: несуча геотканина; бентонітовий порошок – ізоляційний елемент, товщиною приблизно 1 см; покриваючий штапельно-волокнистий геотекстиль голкопробивного ущільнення.



Рис. 4.14 – Бентофікс, – універсальний ізолюючий матеріал на мінеральній основі [77]

Міцний і зносостійкий нетканий геотекстильний матеріал герметично захищає шар чистого бетону, забезпечуючи його тривалу експлуатацію. Бентофікс містить натуральний натрієвий бентоніт найвищої якості, який має високий ступінь водопоглинання.

Це означає, що бентоніт абсорбує воду всередину кристалів і насичується вологою (до 90 %). Завдяки збільшенню розмірів часток бентоніту при насиченні його вологою закриваються залишкові простори пор мінералу, після чого коефіцієнт фільтрації становить  $10^{-9}$  м/с. Процес ефективного насичення бентоніту водою триває приблизно 1 добу. Після гідратації Бентофікс стає ефективною перешкодою для рідин, пар і газів.





Рис. 4.15 – Укладка Бентофіксу[77]

Цікаво провести порівняння Бентофіксу з таким традиційним ізолюючим матеріалом, як глина, замінником якого він є, табл. 4.29.

Таблиця 4.29

Товщина шарів полігонів [77]

Система 1		Система 2	
Матеріал	Товщина шару, мм	Матеріал	Товщина шару, мм
Родючий ґрунт	1000	Родючий ґрунт	1000
Дренажна галька	500	Дренажний матеріал Секудрен	12
Глина	1000	Ізоляційний матеріал Бентофікс	10
Галька для відводу газів	500	Дренажний матеріал Секудрен	12
Відходи	–	Відходи	–
Дренажна галька	500	Дренажна галька із трубами	500
–	–	Захисний геотекстиль Секутекс	15
Поліетиленова плівка високої щільності низького тиску	2	Карбофол з поліетилену високої щільності низького тиску	2
Глина з коефіцієнтом фільтрації більш $10^{-9}$	1000	Бентофікс із коефіцієнтом фільтрації $5 \cdot 10^{-11}$ м/с	10
–	–	Вирівняна ущільнена підстава	450
Загальна товщина ізоляції	<b>4502</b>	Загальна товщина ізоляції	<b>2011</b>

Механічне скріплення (2 млн. пробивань на 1 м<sup>2</sup>) шарів бентофіксу забезпечує достатній опір зрушенню, необхідний навіть для самих складних випадків застосування. Подібне армування волокон також запобігає горизонтальному зсуву бентоніту, у результаті чого бентофікс успішно застосовується на крутих схилах при укосах до 1:2.

Високоякісним гідроізолятором є такий продукт цієї фірми як *Карбофол*, рис. 4.16.



Рис. 4.16 – Застосування карбофолу [77]

*Карбофол* поставляється в рулонах 9,40×200 м. Укладання матеріалу проводиться за допомогою будь-якої будівельної техніки, такої як екскаватор або трактор. Рулон матеріалу кріпиться на траверсах і розкочується робітниками. Після укладання матеріалу, місця стиків зварюються. Зварювання швів і ремонт здійснюються спеціальним зварювальним устаткуванням з роздруківкою протоколу зварювання, у якому зафіксовані всі необхідні дані під час процесу зварювання, рис. 4.17.

Випробування стисненим повітрям або вакуумом підтверджують герметичність швів, таким чином, виключається можливість неякісного зварювання. Захисна плівка по краях рулону зберігає поверхню чистою до зварювання.

Ще один продукт цієї німецької фірми – *Секудрен*, об'єднує фільтраційний, дренажний і захисний шари. Процес монтажу не займає багато часу, тому що ці шари становлять одне ціле. Монтаж, який полягає в розкочуванні легковагих рулонів Секудрену, можуть легко виконати одна або дві людини. Він може виконуватися практично при будь-яких погодних умовах. Секудрен дозволяє уникнути складних кріпильних з'єднань і легко вписується в контури ділянки, що покривається.

На вирівняний шар ґрунту укладається матеріал Бентофікс. Поверх нього розкочуються рулони Карбофолу, аркуші якого зварюються між собою. На Карбофол укладається Секутекс, потім дренажний шар, далі розміщаються шари ТПВ, рис. 4.18.



Рис. 4.17 – Укладання геосинтетичного матеріалу [77]

Схема рекультивації: на шар відходів насипається шар, що вирівнює, на який укладається Секудрен, поверх нього – Бентофікс, потім Карбофол. Наступний шар – Секутекс, потім дренажний шар Секудрену, на який насипається шар родючого ґрунту, рис. 4.19.



Рис. 4.18 – Схема пошарової укладки геосинтетичних матеріалів [77]



Рис. 4.19 – Рекультивація полігону [77]

Як приклад рекультивації полігону за допомогою геосинтетичних матеріалів може служити полігон у м. Ліхте. Для побудованого на початку 70-х рр. полігона по депонуванню побутових відходів м. Ліхте в 1999 р. була запроектована ізоляція поверхні площею 15000 м<sup>2</sup>. Підприємство з переробки відходів округу Ремс-Мурр схвалило альтернативну систему ізоляції, яка основана на використанні полімерних компонентів фірми Naue Fasertechnik[77], що відповідають вимогам TAsiS.

Для ізоляції використали 300 рулонів матеріалу Секудрену, маса яких становила 16 т. Матеріал використовувався для закриття поверхні площею 15000 м<sup>2</sup>. Настільки малі обсяги матеріалу дозволили в стислий термін змонтувати дренажний шар, при використанні мінімальної кількості одиниць техніки та мінімальній витраті фінансових ресурсів на транспортування матеріалу. Закриває полігон родючий шар ґрунту товщиною 1 м. Для закриття цієї ж поверхні шаром дренажної гальки знадобилося близько 10000 т гальки.

Геосинтетичні матеріали розраховані на експлуатацію полігонів строком на 200 років, що є показником їх високої надійності.

Підводячи підсумок, можна виділити наступні переваги таких матеріалів: екологічний ефект використання; стислі строки монтажу; економічний ефект (у тому числі зниження транспортних витрат, витрат на монтаж матеріалу); збільшення корисного обсягу полігона; гарантована якість матеріалів; довгостроковий експлуатаційний період.

***Таким чином, полігони знешкодження побутових відходів призначені для ізоляції ТПВ та повинні забезпечити санітарну надійність в епідеміологічному відношенні.***

**Просте депонування** в наш час є **найдешевим способом** утилізації ТПВ. Цей спосіб є найпоширенішим також і в силу того, що не вимагає великих витрат. У деяких країнах ТПВ в основному вивозяться на смітники та полігони. Наприклад, кількість ТПВ, що потрапляють на смітники та полігони, %: у Нідерландах – 45...55, США – 62...85, Канаді – 93...96, Росії – 97, Україні – 97...98 [2, 16, 24, 27, 32, 38–40, 45, 48, 51, 61, 74, 75].

Закриті **смітники та полігони ТПВ** функціонують як **анаеробні реактори геологічного масштабу**, в яких утворюється звалищний газ. **Утворення  $CH_4$  та  $CO_2$  на об'єктах депонування побутових відходів** настільки велике, що **вони вважаються в наш час одними з основних антропогенних джерел парникових газів** [76].

У табл. 4.30 наведені дані про обсяги викидів парникових газів від відходів по категоріях джерел і в цілому по сектору в 1990–2003 рр.[78]

Таблиця 4.30

Викиди парникових газів від відходів в 1990–2003 рр., тис. т [78]

Рік	Джерела викидів						Усього		
	Тверді побутові відходи, $CH_4$	Стічні води			Спалювання відходів				
		промислові, $CH_4$	побутові, $CH_4$	життєдіяльність людини, $N_2O$	$CO_2$	$N_2O$	$CO_2$	$CH_4$	$N_2O$
1990	580,36	10,49	57,16	5,02	311,79	0,06	311,79	648,01	5,08
1991	585,36	9,41	57,65	4,69	314,48	0,06	314,48	652,42	4,75
1992	597,04	8,39	58,80	4,34	320,75	0,06	320,75	664,23	4,40
1993	590,37	7,65	58,14	4,17	317,16	0,06	317,16	656,16	4,23
1994	590,37	6,07	58,14	4,02	317,16	0,06	317,16	654,58	4,08
1995	590,37	5,22	58,14	3,63	317,16	0,06	317,16	653,73	3,69
1996	580,36	3,99	57,16	3,57	311,79	0,06	311,79	641,51	3,63
1997	575,36	4,24	56,67	3,49	309,10	0,06	309,10	636,27	3,55
1998	572,02	3,94	56,34	3,45	307,31	0,06	307,31	632,30	3,51
1999	435,65	3,39	55,85	3,33	282,85	0,05	282,85	494,89	3,38
2000	493,01	3,43	54,70	3,57	276,79	0,05	276,79	551,14	3,62
2001	607,12	3,49	54,04	3,38	273,47	0,05	273,47	664,65	3,43
2002	536,20	3,40	53,55	3,46	270,97	0,05	270,97	593,15	3,51
2003	623,28	3,10	53,05	3,39	268,47	0,05	268,47	679,43	3,44

Викиди  $\text{CH}_4$  від відходів за період 1990...2003 рр. коливалися в межах 494,89...679,43 тис. т. Викиди  $\text{N}_2\text{O}$  в цей період розподілилися в такий спосіб: мінімальний обсяг відзначений в 1999 р. (3,37 тис. т), максимальний – в 1990 р., – 5,08 тис. т. Відзначався стійкий негативний тренд викидів  $\text{N}_2\text{O}$  від відходів, який становив близько 0,12 тис. т/рік. Викиди  $\text{CO}_2$  змінювалися від 320,75 тис. т в 1992 р. до 234,05 тис. т в 1999 р. Максимальне значення викидів  $\text{CO}_2$  мало місце в 2003 р. і склало 334,85 тис. т. Як впливає з даних табл 4.26, найбільший внесок у сумарний викид ПГ від відходів вносили ТПВ.

Емісія в атмосферу  $\text{CH}_4$  з поверхні смітників земної кулі становить щорічно 10...30 млрд.  $\text{m}^3$ , або 8...20 млн. т. Частка метану зі смітників у сумарному потоці метану від усіх наземних джерел досягає 4 %, що дозволяє вважати розширення смітників однією із причин збільшення концентрації метану в атмосфері.

Тепер розглянемо механізми, завдяки яким утворюються основні шкідливі компоненти впливу ТПВ на навколишнє середовище та людину: фільтрат ТПВ та звалищний газ.

#### 4.3.3.2 Основні стадії біологічної деградації ТПВ

*Фільтрат ТПВ* утворюється в результаті взаємодії рідини, що містилася у відходах та атмосферних опадах, які випадають на поверхні полігонів та смітників [1, 35–36, 45, 79]. Механізми, що регулюють масообмін між відходами та проникаючою водою, можна розділити на три категорії:

- гідроліз твердих відходів і біологічне розкладання;
- розчинення солей, що містяться у відходах;
- випадання нерозчинних солей в осад.

Перші дві категорії механізмів мають великий вплив на якість фільтрату. Для опису процесів розкладання органічних речовин на смітнику ТПВ можна скористатися схемою, запропонованою Баркером [1, 39].

За цією схемою процес розкладання органічної фракції ТПВ складається із двох фаз – *кислої та метанової*, які послідовно змінюють одна іншу, рис. 4.20.

Основним *кінцевим продуктом* розкладу органічних речовин *першої фази* є жирні органічні кислоти ряду граничних вуглеводнів, які обумовлюють кислотну реакцію цієї фази. Здійснюється ця фаза завдяки діяльності факультативних та облигатних аеробних бактерій: молочнокислих, оцетокислих, пропіоновокислих, маслянокислих, целюлозних, ацетонобутилових та ін. [1, 39, 45].

*Другу фазу* процесу називають лужною або метановою. Реакція середовища лужна,  $\text{pH} = 7,6...8,0$ . Продукти розпаду першої фази переробляються бактеріями другої фази з утворенням, в основному,  $\text{CO}_2$  та метану. Бактерії цієї фази – облигатні анаероби.

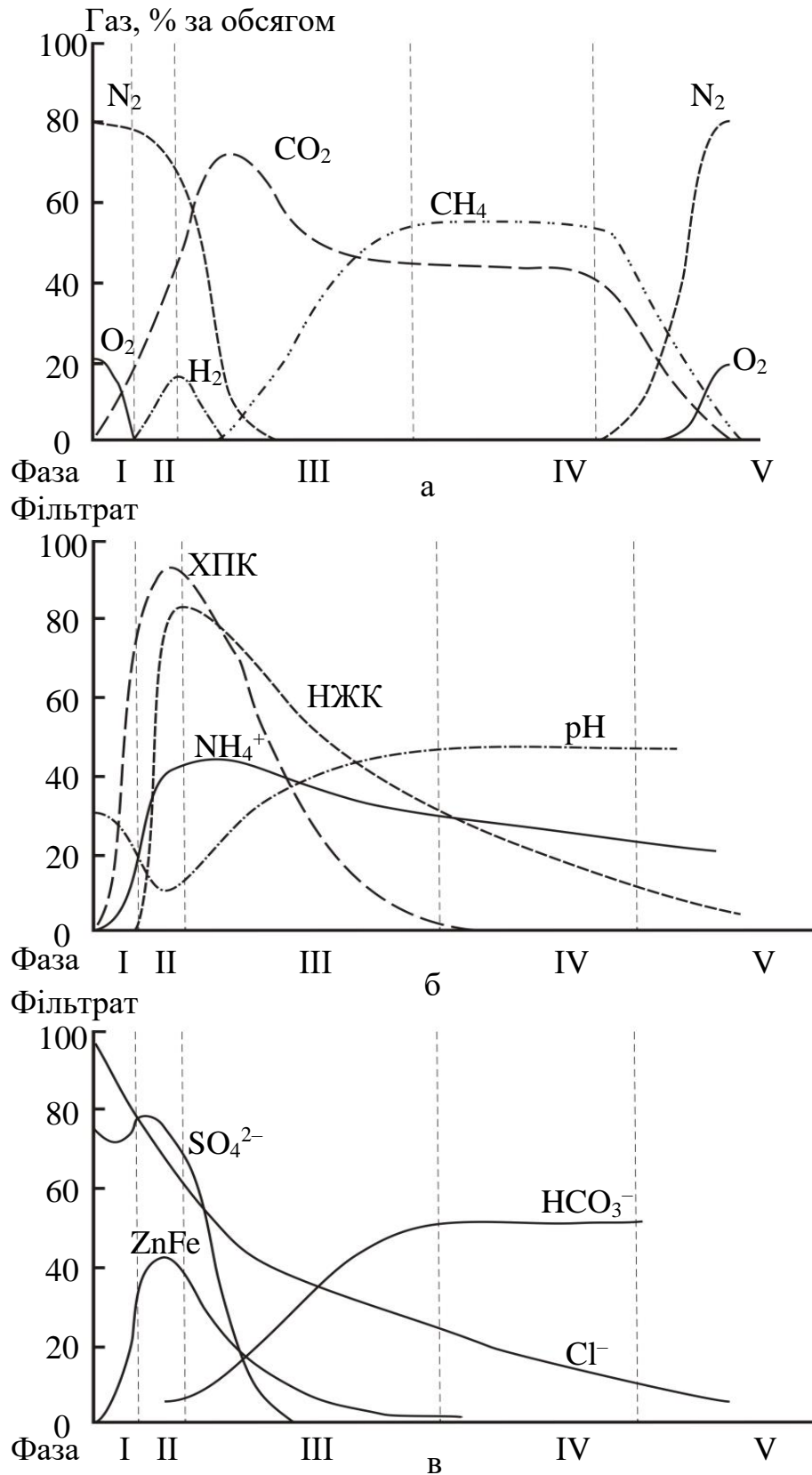


Рис. 4.20 – Зміна характеристик газу (а) і фільтрату (б, в) ТПВ з часом [1]:  
 I фаза – аеробна стадія; II фаза – перша анаеробна стадія; III фаза – друга анаеробна стадія; IV фаза – третя анаеробна стадія; V фаза – друга аеробна стадія; ХПК – хімічне споживання кисню, НЖК – нижчі жирні кислоти

У початковій стадії розкладання ТПВ переважають аеробні процеси, в ході яких найбільш лабільні молекули швидко руйнуються безхребетними (кліщі, двупароногі, рівноногі, нематоди) та мікроорганізмами (гриби, бактерії та актиноміцети). Перша стадія аеробної деградації органічних речовин сильно варіюється та частково залежить від попередньої обробки відходів, яка може змінювати ступінь доступності  $O_2$ . На цій стадії (рис. 4.20, а, фаза I) верхні шари полігона залучені в аеробний процес, куди  $O_2$  надходить із свіжою порцією відходів та з дощовою водою, при цьому протеїни перетворюються в амінокислоти, в свою чергу, амінокислоти – у  $CO_2$ , воду.

Нітрати та сульфати – типові катоболіти всіх аеробних процесів. Жири піддаються гідролізу з утворенням жирних кислот і гліцерину, які далі розкладаються до простих з'єднань через утворення проміжних летючих кислот і лугів. Целюлоза, складова більшої частини органічних відходів, розкладається під дією ензимів до глюкози, яка потім використовується бактеріями та перетворюється до  $CO_2$  і води.

Протягом аеробної стадії розкладання ТПВ внаслідок протікання екзотермічних реакцій біологічного окиснення встановлюється температура до  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , особливо, якщо відходи не втрамбовані. Збільшення температури, з одного боку, збільшує активність і швидкість росту мікроорганізмів, а з іншого боку, – негативно впливає на розчинність  $O_2$ .

Зменшення молекулярного  $O_2$  та одночасне накопичення  $CO_2$  приводять до затримки виділення тепла та до збільшення спочатку факультативних, а потім і облігатних анаеробів (рис. 4.20, а, фаза II). Ця послідовність приводить до істотних змін у складі мікробної популяції. Види, здатні використовувати більш окиснені акцептори, одержують термодинамічні та кінетичні переваги.

Для аеробного середовища в окисно-відновних процесах кінцевим акцептором є  $O_2$ , а при ферментації – органічна сполука, яка утворюється в результаті переходу  $H_2$  з однієї органічної молекули в іншу.

На старих полігонах, коли у відходах залишається тільки більш стійкий органічний карбон у верхньому шарі полігона, починається друга аеробна стадія (рис. 4.20, а, фаза V). У цій стадії швидкість утворення  $CH_4$  настільки мала, що починається дифузія повітря з атмосфери, яка веде до росту аеробних зон і зон, у яких окисно-відновні потенціали занадто високі для формування метану.

У процесі анаеробного зброджування від 35 до 55 % органічної речовини розкладаються з виділенням газу та фільтрату. За сучасними уявленнями газу зброджування утворюються тільки з жирно-, білково- і вуглеводних сполук.

Дослідженнями встановлено, що найбільше газу утворюється при зброджуванні жироподібних речовин, найменше – при розпаді білковоподібних. Було встановлено, що ці речовини біохімічним шляхом не можуть бути зброжені на 100%. Існує своєрідна межа, по досягненню якої подальший розпад речовини, якщо він і має місце, не супроводжується виходом газу.



Склад газів, що виділяються, значно змінюється при переході процесів на полігоні з *кислотної в метанову фазу* (рис. 4.20, а, фази III, IV). Зміст  $\text{CO}_2$  у метановій фазі не більш 30...35 %, метану 60...65 %,  $\text{N}_2$  не більш 1...2 %.

Анаеробний процес розкладання органічної речовини продовжується кілька десятиліть, причому інтенсивність процесу досягає максимуму вже через рік після закриття ТПВ ізолюючим шаром ґрунту та перебуває практично на одному рівні 5...6 років, потім його інтенсивність плавно зменшується. Орієнтовно, можна вважати, що 42,5% звалищного газу виділяється за перші 6 років і ще 57,5% – за наступні 15 років.

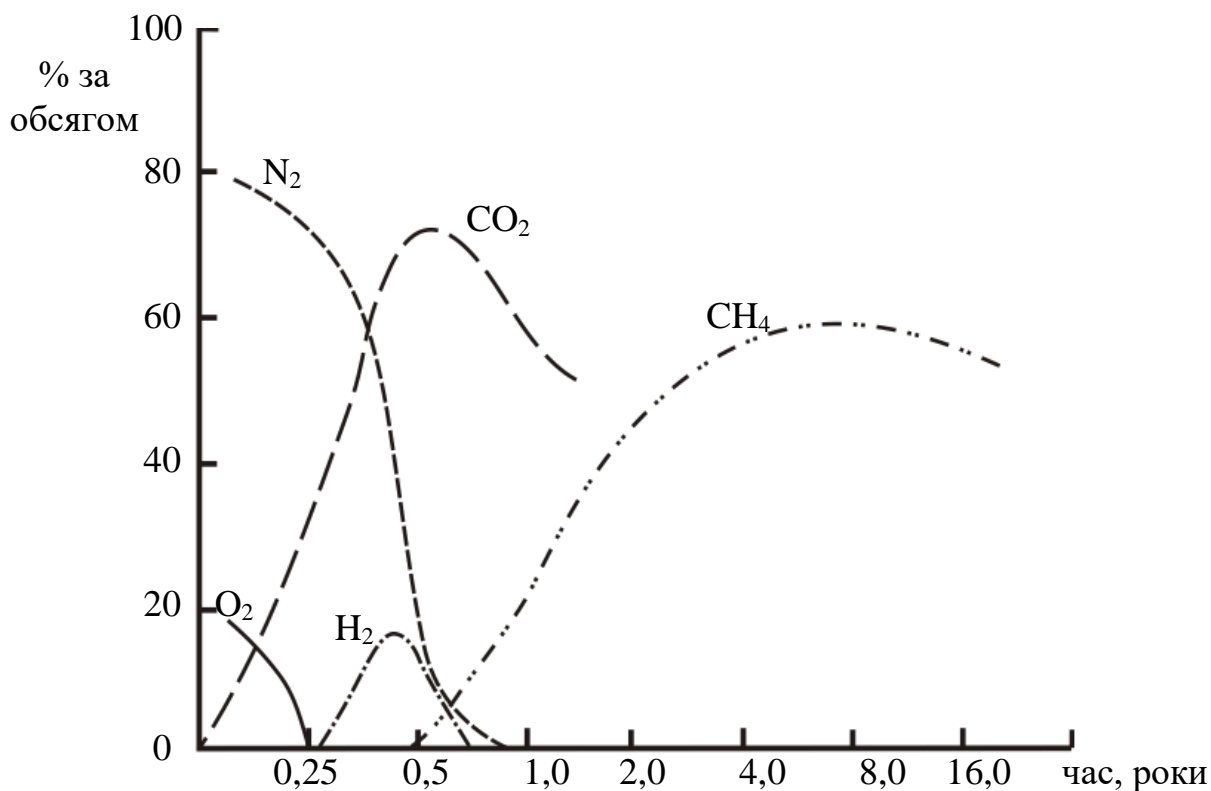


Рис. 4.21 – Зміна складу газу в обсязі смітника [39]

*Склад звалищного газу* може нараховувати до **50 компонентів** [1]. Теоретично, *біологічне розкладання 1 т ТПВ* сприяє утворенню близько **400 м<sup>3</sup>** звалищного газу, що містить **~ 55 % метану**.

За іншими теоретичними даними, *звалищний газ містить:  $\text{CH}_4$  – 40...60 %*,  *$\text{CO}_2$  – 30...45 %*, кілька відсотків  $\text{N}_2$ , решта – домішки [37].

На практиці, умови розкладання на смітнику не ідеальні, тому розкладається приблизно 1/4 органічних відходів. Більш того, навіть на добре спроектованих санітарних полігонах ТПВ може бути витягнуто близько 70 %, звалищного газу, що виділяється. Так що більш реальною, підтвердженою практикою, є величина виходу звалищного газу **100 м<sup>3</sup> з 1 т ТПВ**, із змістом **метану 55 %** [1, 45, 75, 79–80].

Ні анаеробного процесу, ні аеробного процесу розкладання органічних фракцій у чистому вигляді на полігонах не існує, на практиці відбувається змішаний процес.

**Завдання 4.6.** Використовуючи рис. 4.21 визначити склад звалищного газу через півроку після завантаження 1000 т ТПВ на полігон. Також розрахувати обсяги та маси газів, що виділяються.

**Завдання 4.7.** Використовуючи рис. 4.20 визначити склад фільтрату, % наприкінці фази II біологічного розкладання відходів.

**Завдання 4.8.** Використовуючи дані табл. 4.30 визначити загальний обсяг звалищного газу з 700000 т ТПВ, після завантаження їх на полігон.

Обсяг звалищного газу з полігону ТПВ ( $V$ , м<sup>3</sup>/рік) можна розрахувати за формулою [44]:

$$V = \sum V_0 Q e^{-k_1 t}, \quad (4.1)$$

де  $V_0$  – теоретичний потенціал утворення метану з ТПВ, м<sup>3</sup>/рік;  $Q$  – середня кількість ТПВ, що надходять на полігон, т/рік;  $k_1$  – константа утворення метану з органічних відходів;  $t$  – час з моменту відкриття полігону, років.

Дані, необхідні для розрахунку – табл. 4.31.

Таблиця 4.31

Середній компонентний склад полігонів ТПВ м. Одеси[27]

Найменування	Середній вміст, % мас	$k_1$	$V_0$ , м <sup>3</sup> /т ТПВ
Папір	35	0,1	250
Харчові відходи	25	0,35	150
Дерево, листя (біомаса)	3,25	0,1	140
Текстиль	4	0,05	100
Шкіра, гума, пластик	3,75	0,01	60

Органічна речовина розкладається на смітниках приблизно протягом 20 років. Активне газоутворення в товщі складованих відходів починається приблизно через півроку (за іншими даними з третього року) від початку складування, поступово наростаючи, і триває 10...15 років, після чого процес поступово вповільнюється. Тому при середньому виході звалищного газу **100 м<sup>3</sup> з 1 т** ТПВ середня швидкість виходу його складає, як правило, 5 м<sup>3</sup> в рік [1]. Ця цифра підтверджується даними по експлуатації 86 систем збору звалищного газу в різних країнах.

Середні значення реального складу звалищного газу з Львівського смітника ТПВ наведені в табл. 4.32 [82]. У табл. 4.33 наведений усереднений склад звалищного газу, отриманий на основі аналізу літературних даних [82].

Таблиця 4.32

Номер свердловини	Склад газу, в % об.					
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
1	61,3	32,7	2,6	0,6	1,6	1,2
2	57,2	37,9	1,2	0,3	2,0	1,4
3	63,8	32,0	0,8	0,5	1,5	1,4
4	59,4	36,9	0,6	0,2	1,8	1,1
5	65,1	30,8	0,7	0,4	1,8	1,2

Тепер розглянемо, які процеси протікають *при утворенні фільтрату ТПВ*. Виділяють три різні стадії при анаеробному розкладанні відходів.

Таблиця 4.33

Усереднений морфологічний склад звалищного газу[1]

Найменування речовини	Викид, %	Найменування речовини	Викид, %
Азоту (II) оксид	0,6	Пропан	0,02
Аміак	0,33	Сажа	0,09
Ангідрид сульфатний	0,04	Сірководень	0,06
Декан	0,02	Тріхлорфторметан	0,01
Діхлордіфторметан	0,02	Вуглеводні	0,09
Дихлоретан	0,04	Карбону оксид	1,01
Ізопропілбензол	0,01	Хлор загальний	0,01
Метан	97,39	Хлоретан	0,04
Толуол	0,08	Естен	0,01
Нопан	0,06	Етан	0,01
Про-Крезол	0,1	Етілбензол	0,03
Октан	0,01		

Першою стадією (рис. 4.20, б, в, фаза II) анаеробного розкладання є кислотне зброджування, яке супроводжується зниженням рН фільтрату, підвищенням концентрацій летючих кислот і неорганічних іонів ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ). Початковий високий вміст сульфатів знижується при падінні окисно-відновного потенціалу.

Зниження рН фільтрату відбувається в результаті утворення великої кількості летючих кислот і високого парціального тиску  $\text{CO}_2$ . Сульфіди, що утворюються, осаджують іони важких металів, які були розчинені у фільтраті при кислотному шумуванні.

#### 4.3.3.3 Технологія збору звалищного газу

Найпоширеніша система добування звалищного газу складається з мережі вертикальних шпар, зв'язаних разом горизонтальними трубами, які збирають одержуваний звалищний газ і передають його в устаткування для комерційного використання [38, 61].

Всередині вертикальної шпари, що розташована в шарі ТПВ, поміщена пластикова труба діаметром 12...25 см. Труба перфорована прорізами у вигляді щілин шириною 3...6 мм від нижнього краю до відстані 3...5 м від верху насипу. Діаметр шпари – 0,6...1,2 м, глибина – мінімум 7 м, повинна відповідати 50...90 % товщини шару ТПВ. Обсяг шпари навколо перфорованої збірної труби засипаний гравієм. Верхні 0,5 м шпари ущільнені бетоном або глиною з метою запобігання припливу атмосферного повітря в шпару та витоку в атмосферу звалищного газу.

Шпари бурять, коли смітник або одна з його секцій повністю заповнені ТПВ. Шпари споруджують поступово, у міру заповнення відходами працюючого смітника. В іншому випадку, на смітнику встановлюються сталеві труби великого діаметра. **Усередині кожної з них** міститься перфорована труба для добування звалищного газу. Міжтрубний простір заповнюється гравієм, уламками цегли. Після того, як насипається шар смітника висотою 2...5 м, сталеві труби піднімаються, а після заповнення смітника вони видаляються. Завдяки горизонтальному зв'язку вертикальних шпар у нижній їхній частині добування звалищного газу може початися вже під час заповнення смітника.

Радіус впливу шпари для відкачки звалищного газу змінюється в межах 8...80 м із середнім значенням 30...35 м. Відстань між шпарами не повинна бути менше подвоєного радіуса впливу. Залежно від місцевих умов швидкість відкачки звалищного газу з однієї шпари – від 5...50 до 250 м<sup>3</sup>/годину.

Коли система збору газу встановлюється при заповненні смітника, для його відкачки кращою є мережа горизонтальних труб. Горизонтальні системи для добування звалищного газу можуть бути розміщені в поверхневих частинах смітника під верхньою частиною засипаних відходів, тому що звалищний газ переміщається в напрямку до поверхні смітника. На глибоких смітниках для збільшення впливу всмоктування спільно використовують вертикальні шпари та горизонтальні труби. Якщо масив смітника має верхнє покриття, можуть бути встановлені також системи поверхневого збору.

Наприклад, у Нідерландах найбільш широкє застосування знаходять наступні технології збору та видобутку звалищного газу (можлива їхня комбінація): на заповнених звалищних майданчиках – поверхневий збір або система вертикальних шпар; на майданчиках, які заповняються – горизонтальні або вертикальні системи.

При біологічному розкладанні відходів смітник осідає на 5...20 %, навіть до 30...35 % вихідної товщі. Щоб не допускати розриву колекторів видобутку звалищного газу, шпари для його добування з'єднують із колектором за допомогою гнучких труб. Для збору звалищного газу застосовують труби з поліетилену низького тиску (для наземного та підземного використання) і полівінілхлориду (для підземного використання).

Технологія підготовки звалищного газу заснована на процесах стиснення, сепарації, абсорбції, адсорбції та десорбції, і забезпечує його осушку та очищення від CO<sub>2</sub>.

У табл. 4.34 наведені характеристики деяких датських установок, що використовують звалищний газ [42, 43, 61].

#### ***Установка для використання звалищного газу в м. Дибдалі, Данія.***

Звалищний газ збирається за допомогою вертикальних шпар. Їх встановлюють як під час заповнення смітника, так і після завершення депонування. Газ спалюється в газовому двигуні. Вал двигуна обертає генератор, з'єднаний з місцевою електромережею. Тепло від охолодження двигуна та відпрацьованих газів використовується для теплопостачання.

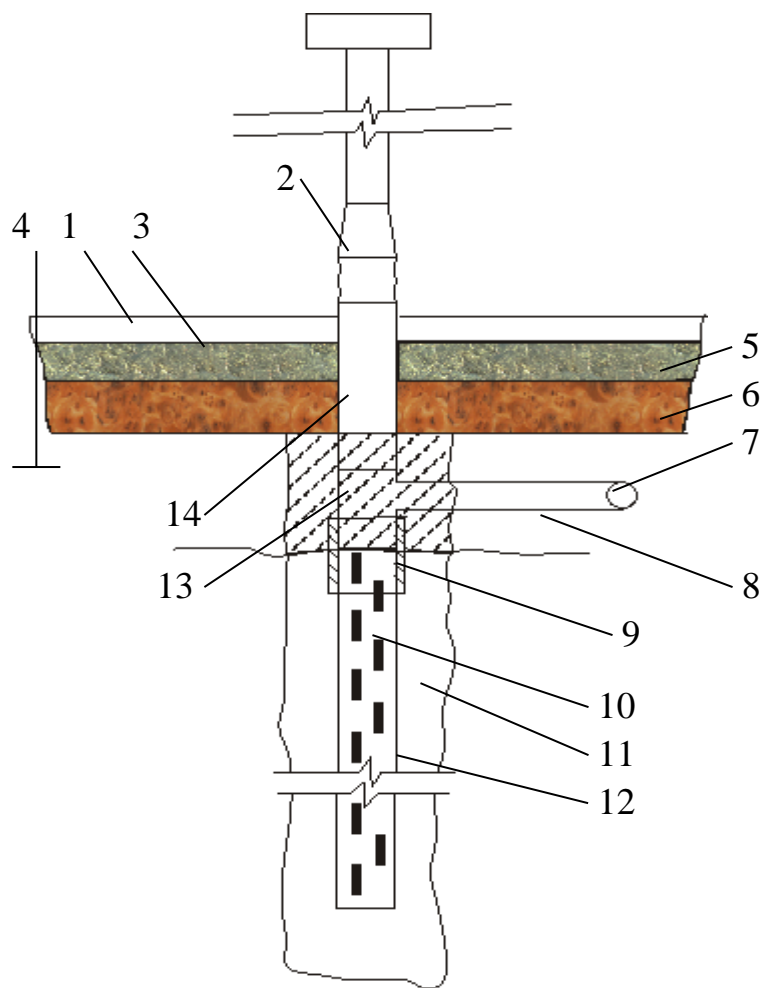


Рис. 4.22. Схема збору та утилізації звалищного газу [1, 38]: 1 – покриття; 2 – вентиль; 3 – культурний шар; 4 – глибина промерзання; 5 – пісок; 6 – глина; 7 – колектор; 8 – гнучкий рукав; 9 – бетонне кільце; 10 – перфорована труба; 11 – гравій; 12 – свердловина; 13 – трійник; 14 – насадка

Таблиця 4.34

Полігон ТПВ	Початок будівництва установки	Кількість ТПВ, тис. т	Видобуток звалищного газу, м <sup>3</sup> /годину	Енергетична цінність, кВт <sub>т</sub>	Використання газу
Виборг	10.1985	350	100	450	Опалювальний котел і установка КТЕ
Гринстед	11.1985	290	120	540	Опалювальний котел
Хеделенд	11.1986	1000	0	0	Опалювальний котел
Есб'єрг	05.1988	1400	360	1660	Електростанція
Остдепоні	07.1989	800	450	2650	Опалювальний котел і установка КТЕ
Сандхольт	06.1992	800	340	1660	Електростанція

Хойєр	12.1992	260	70	490	Електростанція
Едслев	04.1994	2000	270	1130	Установка КТЕ
Рандерс	09.1994	700	350	1700	Установка КТЕ
Аунсогаард	05.1996	1100	350	1700	Установка КТЕ

Технічні характеристики установки: площа смітника – 26 тис. м<sup>2</sup>; глибина шару ТПВ – 15...25 м; обсяг ТПВ – 380 тис. м<sup>3</sup>; продуктивність по звалищному газу – 120 м<sup>3</sup>/годину; електрична потужність, що виробляється – 170 кВт; теплова потужність, що виробляється – 280 кВт.

***Картонно-паперова фабрика в м. Перфліті. Великобританія [61].***

Смітник в м. Авелі займає 24 га і дозволяє розмістити 3 млн. м<sup>3</sup> ТПВ. Звалищний газ із вмістом СН<sub>4</sub> – 48 %, використовується на паперовій фабриці, розташованій в 4 км від смітника. Частина звалищного газу спалюється в паровому котлі. Пара використовується для виробітку електроенергії в паровій турбіні. Отримана гаряча вода використовується на фабриці. Залишок газу використовується в газовій турбіні також для виробітку електроенергії. Відпрацьовані гази після газової турбіни надходять у котел.

Газова турбіна споживає в рік, ТДж: природного газу – 243, звалищного газу – 200, керосину – 7. Вона виробляє приблизно 25500 МВтгодин електроенергії. Паровий котел споживає в рік, ТДж: природного газу – 211, звалищного газу – 253, мазуту – 770. Він виробляє 445 тис. т/рік пари. Для виробництва електроенергії, близько 41000 МВтгодин/рік у паровій турбіні використовується 36 т/годину пари.

Із виробленої 66500 МВтгодин електричної енергії експортується тільки 800 МВтгодин. Решта використовується на фабриці, покриваючи приблизно 90 % загальної потреби в електроенергії. З економічної точки зору ця установка КТЕ була дуже успішною, її термін окупності склав 4 роки.

**4.3.3.4 Економічні показники технологій видобутку та використання звалищного газу**

Збір і транспортування ТПВ – дорогі операції. Їхня вартість в наш час становить до 80 % загальної вартості всієї переробки ТПВ, при цьому транспортні витрати перебувають в прямій залежності від видалення місця депонування. Розповсюджена практика економічної оцінки проектів з видобутку та використанню звалищного газу припускає, що у вартість проекту включають тільки витрати, пов'язані з його видобутком і використанням, а ТПВ вже доставлені на смітник.

Інший можливий підхід до економічної оцінки установки припускає включення у вартість проекту тільки устаткування для кінцевого використання звалищного газу, оскільки витрати на його видобуток і збір можуть бути віднесені на необхідні природоохоронні заходи, пов'язані з експлуатацією полігонів ТПВ. При такому підході загальні капіталовкладення можуть

розраховуватися як різниця між вартістю проекту з видобутку та енергетичного використання звалищного газу й вартістю проекту по збору та спалюванню звалищного газу без комерційного використання.

Вартість комплексу устаткування для видобутку та збору звалищного газу не є основною. Вона становить 5...10 % загальних капітальних витрат проекту. Основні витрати пов'язані з устаткуванням для кінцевого використання звалищного газу та необхідним будинком для його розміщення. Питомі капітальні та експлуатаційні витрати значно зменшуються з ростом встановленої потужності установки.

На невеликих смітниках раціонально встановлювати устаткування для використання звалищного газу в пересувних контейнерах, що дозволяє уникати витрат на будівництво будинку. Пересувні контейнери можуть легко переміщатися з одного смітника на інший для виробітку існуючого потенціалу газу. Транспортування звалищного газу на великі відстані нерентабельне, споживач газу повинен розташовуватися на відстані не більш 5...10 км від майданчика смітника.

Витрати на технічне обслуговування та експлуатаційні витрати установки по використанню звалищного газу – приблизно 10 % капітальних витрат у рік.

У табл. 4.35 наведена типова собівартість звалищного газу в Нідерландах [42]. Найбільш низька собівартість звалищного газу отримана при його використанні в промислових котлах і печах, а також при виробітку електроенергії та її продажу в мережу.

Методологія для економічної оцінки установки по використанню звалищного газу така ж, що й для оцінки комерційного капіталовкладення. Як правило, користуються двома основними показниками:

- чиста сьогодення вартість проекту (NPV) – це сьогодення вартість майбутніх доходів від проекту мінус початкові інвестиції в проект;
- внутрішня норма рентабельності проекту (IRR) – це ставка дисконту, при якій чиста сьогодення вартість проекту за розглянутий період оцінки дорівнює нулю.

Таблиця 4.35[42]

Вид енергії	Споживач	Вартість, € цент/м <sup>3</sup>
звалищний газ, поліпшений до якості природного газу	газорозподільна мережа	10.3
електроенергія	електромережа	7.6
звалищний газ	промисловість	6.8
звалищний газ	потреби смітника	13.2
електроенергія	потреби смітника	11.6

Розглянемо економічні показники проекту виробітку електроенергії з очищеного звалищного газу на смітнику м. Монтеборо, Італія, що містить 450 тис. т ТПВ [52].

Основні технічні й економічні показники проекту: видобуток звалищного газу – 300 м<sup>3</sup>/годину; теплотворна здатність газу – 16,7 МДж/м<sup>3</sup>; максимальна електрична потужність – 430 кВт; річне завантаження установки – 7200 годин/рік; ККД виробітку електроенергії – 29...31 %; капітальні витрати – 730 тис. дол. США; плата за кредит – 7,5 %; період повернення кредиту із щорічною виплатою відсотків – 10 років; прогнозований рівень інфляції – 2,5 %; вартість електроенергії, що продається – 0,11 дол.США/кВтгодину; чиста сьогодення вартість проекту (NPV) – 1277 тис. дол.; внутрішня норма рентабельності проекту (IRR) – 27,4 %. Отримані економічні показники (NPV і IRR) указують на досить гарну економічну рентабельність проекту.

В [43] наведені показники економічної ефективності деяких діючих установок по використанню звалищного газу.

Для установки на смітнику м. Модена, Італія, що використовує 370 м<sup>3</sup>/годину звалищного газу для виробітку електроенергії, очікується внутрішня норма рентабельності 12 % і строк окупності 6,7 роки.

Описана вище установка на картонній фабриці в м. Перфліт, Великобританія, має термін окупності 4 роки.

Економічні розрахунки показали, що використання звалищного газу виявляється прибутковим на будь-якому великому смітнику, де міститься не менш 1 млн. т відходів, глибина відходів не менш 10 м, а площа вивантаження не менше 10 га [43]. Однак менші смітники також можуть виявитися рентабельними [82, 83].

У Нідерландах близько 50 % смітників вважаються придатними для рентабельного добування біогазу.

### **Перспективи використання звалищного газу в Україні**

Тільки міста України "виробляють" кількість ТПВ, яка оцінюється близько 42 млн. м<sup>3</sup> на рік (10 млн. т). Близько 93...97 % їх кількості збирається та вивозиться на 656 смітників, розташованих в 10...20 км від меж міст. У середньому на одного мешканця України доводиться 0,8...1,0 кг ТПВ на добу [2].

Більш 500 смітників в Україні створені без елементарних запобіжних заходів проти забруднення підземних вод і атмосферного повітря. У зв'язку з тим, що території смітників в останні роки віддаляються від міст на 20 км і більше, витрати на транспортування відходів збільшуються і становлять до 75 % загальних витрат на санітарне очищення міста [72].

Проведемо *приблизну оцінку потенціалу звалищного газу* в Україні.

В Україні станом на 01.02.2012 р. проживає 45437200 мешканців. [85].

Прийmemo для розрахунків, що норма утворення відходів складає ~ 300 кг/рік. Тоді, сумарна маса відходів, що утворюються:

$$M = 45437200 \cdot 300 = 13,631 \text{ млн. т.}$$

З них на смітниках складають 90 %, – це становить 12,27 млн. т. Вихід доступного для збору та використання звалищного газу, підтверджений дослідом експлуатації систем подібного типу – 100 м<sup>3</sup>/т ТПВ [1, 42, 43], зміст у ньому метану – 55 %. Його теплотворна здатність – 19,8 МДж/м<sup>3</sup>.



Тоді *потенціал звалищного газу в Україні складе 1,226 млрд м<sup>3</sup>/рік* (газ виділяють відходи, поховані протягом останніх 20 років). Його *енергетичний потенціал – 0,9 млн. т умовного палива/рік*. При цьому *потенціал зниження викидів парникових газів* зі смітників складе *674,74 тис. т/рік метану*, що еквівалентно зниженню викидів 14,17 млн т/рік CO<sub>2</sub>.

Низькі тарифи на електроенергію на внутрішньому ринку зроблять пріоритетним і найбільш рентабельним використання звалищного газу для потреб промисловості, розташованої в безпосередній близькості від смітника. За такою схемою можна здійснити, наприклад, спалювання газу з Обухівського смітника в котлах Трипільської ГРЕС (відстань всього 7 км), газу з Харківських смітників у котлах Зміївської ГРЕС, газу з Одеського полігону ТПВ-2 – на цементному заводі. Тільки при відсутності можливості використовувати газ у промисловості представляється раціональний виробіток електроенергії в мережу. В останньому випадку можуть бути використані газо-дизельні електростанції виробництва ГП "Завод ім. Малишева", Харків, потужністю 1,0 і 1,6 МВт або АТВТ "Первомайскдизельмаш", Первомайськ, потужністю 0,4...0,8 МВт[61].

Дослідження, проведені в "УкркомунНДПрогрес", показали можливість і доцільність широкого використання газу як альтернативного палива в комунальному господарстві України. В "УкркомунНДПрогрес" та НІКТИ КГ, Київ створені експериментальні установки, розробляються конструкції шпар, вибухобезпечне устаткування для відкачки звалищного газу і його використання як моторного палива в стаціонарних енергоустановках, а також для заправки транспорту [86].

Одним із проектів по *видобутку та використанню звалищного газу є проект експлуатації Львівського міського смітника* з добуванням і комерційним використанням звалищного газу [82]. Мета проекту показати технічну можливість, економічну та екологічну доцільність впровадження цих технологій в Україні.

Для реалізації цих проектів необхідні значні капіталовкладення (2,0...3,5 млн. грн. для полігону з 2 млн. т відходів), які повинні окупитися внаслідок використання звалищного газу. Орієнтовно капіталовкладення на систему збору становлять 60...70 % від вартості проекту та на систему очищення звалищного газу – 30...40%. Тобто, створення й монтаж оснащення вимагає значних матеріальних витрат.

Досвід свідчить, що економічно доцільним є збір газу на полігоні, де депоноване понад 5 млн. т відходів з висотою складування не менше 10 м при наявності потреби у використанні газу.

*Досвід видобутку звалищного газу в м. Луганську*[61, 87].

Керівництво Луганської міської ради, намагаючись не допустити забруднення атмосфери, а також раціонально використовувати звалищний газ, вирішило на полігоні побудувати завод з його видобутку.

Таким чином, Луганськ став першим і поки єдиним в Україні містом, де спробували використовувати дармову енергію. Вивчивши досвід закордонних країн, міське керівництво запросило до участі в проекті представників Австрії,

Данії і Японії. Закордонне співтовариство охоче відгукнулося на ініціативу мерії Луганська.

На полігоні пробурили три шпари, установили труби на всю глибину залягання сміття та відходів. З них пішов газ, який подали на промисловодослідну установку – міні-електростанцію. Таким чином, була отримана електрична енергія для висвітлення самого полігона.

Начальник відділу екології та раціонального використання природних ресурсів Луганської міської ради Олег Бережний:

"Ми були першими в Україні, хто змонтував на вітчизняному полігоні установку з видобутку та використанню газу. Ми пробурили шпари та об'єднали їх трубопроводом. Газ подали на господарську територію полігона, підпалили факел. Тепер звалищний газ не викидається в атмосферу, а спалюється. Крім цього, ми змонтували установку потужністю в 30 кВт з його утилізації. Це двигун внутрішнього спалювання, який при спалюванні газу виробляє електроенергію".

Коли луганські ініціатори, як говориться, впритул наблизилися до реалізації проекту по одержанню на полігоні щорічно восьми мільйонів кубометрів біогазу, виявилось, що мрію про "дармове" паливо здійснити неможливо.

Виявляється, Кабінет Міністрів не підписав відповідні документи, необхідні для того, щоб Україна змогла приєднатися до міжнародної Кіотської угоди. Хоча при її реалізації промислово розвинені країни змогли б надати Луганську пільгові кредити, відповідну техніку, технологію з утилізації та раціонального використання газу.

На спорудження міні-заводу, що працює на "дармовому" паливі протягом двадцяти років, необхідно 3 000 000 €. Бажаючих, як заявив інформаційному агентству "Родина Схід" той же Олег Бережний, вистачає. Але міністерські чиновники роками не бажають підписувати Кіотської угоди.

Нагадаємо, що в Кіотській угоді зафіксовані зобов'язання промислово розвинених країн по зменшенню в усьому світі викидів парникових газів в атмосферу.

Перший період виконання цієї угоди розрахований на період з 2008 по 2012 роки. До цього часу розвинені країни повинні скоротити викиди парникових газів більш ніж у п'ять раз у порівнянні з 1990 р.

Оскільки більших обсягів скорочення викидів на своїх територіях ці держави добитися вже не можуть, то вони охоче здобувають квоти на зменшення викидів в інших країнах. Квоти дозволяють промисловості західних країн додатково будувати заводи та фабрики, не порушуючи Кіотську угоду.

Україна в плані продажу цих квот – багата держава. І могла б одержати величезні інвестиції, сучасну технологію утилізації газів і, найважливіше на сьогодні, "дармове" паливо.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4:

Ситуація, що склалася з промисловими, а тим більше з побутовими відходами призводить до забруднення підземних і поверхневих вод, погіршення якості земельних ресурсів і особливо атмосферного повітря і, врешті-решт, – відповідним чином діє на здоров'я населення і зумовлює загальну деградацію навколишнього середовища.

Склад ТПВ за останні десятиріччя суттєво змінився. Показовий до цього аналіз, проведений Європейською асоціацією утилізації ТПВ в 2003...2005 рр.[40]. Встановлено, що обсяг сухих відходів (папір, скло, пластмаса, метал, текстиль) нині вже у два рази перевищує обсяг органічних відходів.

Динаміка зміни морфологічного складу відходів у різних країнах показує значне збільшення процентного вмісту полімерів у ТПВ в більшості країн. У таких країнах як Японія, США, Німеччина, Франція та інші держави Європейського Союзу, частка полімерних матеріалів найбільша – 10...15 %, у Росії в м. Москві ... 6 %, що практично в 10 раз перевищує показник 1950 р. Це пов'язане з більшим застосуванням в останні десятиліття полімерних матеріалів для пакування товарів споживання.

В економічно розвинених країнах все менше побутових відходів вивозиться на полігони та смітники, і все більша їхня кількість переробляється промисловими способами. При цьому світова тенденція показує, що у Західній Європі кількість ССЗ, що будуються поступово падає, а в США взагалі скорочується. Хоча за останні роки технологія спалювання відходів перетерпіла значні зміни, суть яких полягає в створенні багатоступінчастих систем очищення продуктів спалювання, а також в утилізації тепла, що виділяється, – проте з обліком капітальних і поточних витрат технологія знешкодження відходів шляхом спалювання, на думку багатьох фахівців, економічно менш ефективна в порівнянні з депонуванням, так як вимагає значних капітальних витрат на облаштуваність. Дослідження впливу ССЗ на навколишнє середовище та людину показали, що як раніше побудовані, так і нові, більш сучасні ССЗ вносять істотний внесок у забруднення ґрунтів "важкими металами" та діоксинами з наступним їх впливом на вегетацію рослин незважаючи навіть на жорсткі норми до ССЗ у ЄС.

У міру вичерпання ресурсів, які не поновлюються, велике значення приділяється дослідженням в *області переробки та сортування відходів*. Відомо, що навіть при сучасних технологіях проста ліквідація відходів на смітниках, як мінімум, на 65 % дешевше будь-якого способу їх переробки, і в силу цього даний спосіб ліквідації відходів в даний час найпоширеніший.

З одного боку, практично неможливо повторно використовувати всі компоненти ТПВ, тому що завжди будуть компоненти від спалювання відходів і іншої їхньої переробки, які зажадають їхнього кінцевого розміщення на смітниках.

Є два можливі способи керування відходами: **сортування та роздільний збір у населення або безпосереднє сортування змішаних відходів** на спеціальному підприємстві.

Перша модель, на жаль, придатна тільки у невеликих поселеннях із чисельністю населення, що не перевищує 5000...8000 мешканців, і вимагає великої роз'яснювальної роботи.

У той час як друга модель являє собою оптимальне рішення для великих міст і є найпростішим і найшвидшим способом досягнення цілей охорони навколишнього середовища. Таким чином, актуальним завданням є використання при проектуванні вітчизняних заводів з сортування сміття працездатної, апробованої технології сепарації ТПВ, яка повною мірою враховує їхній специфічний склад, а також досягнення світової практики в цій області.

Згідно із "кінцевого сховища" необхідно проводити комплексні заходи щодо керування процесами утилізації відходів і їх повторного використання та розміщення на полігоні без якого-небудь несприятливого впливу на навколишнє середовище протягом тривалого часу. За кордоном опановано ще один напрямок утилізації ТПВ – біохімічне розкладання ТПВ на елементи, які можна використовувати нарівні з дорогими первинними природними ресурсами. Наприклад, одержання звалищного газу з міських смітників як енергетичної сировини. Але застосування такого методу вимагає, з одного боку, модернізації устаткування, а з іншого – сортування відходів, що обмежує застосування цього методу в нашій країні.

Перспективним для України є метод вермікультування – переробка органічних відходів за допомогою олігохет, який добре зарекомендував себе в практиці закордонного використання в США, на Філіппінах, в Великобританії, Нідерландах, Франції, Польщі та ін.

#### **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 4:**

1. Перерахуйте характеристики ТПВ які відносяться до їх фізичних властивостей.
2. В якому інтервалі значень змінюється середнє значення щільності ТПВ для міст України?
3. Чому зв'язаність та зчеплення ТПВ мають переважне значення при їх складуванні в вертикальних бункерах та накопичувачах?
4. Назвіть 8 основних складових морфологічного складу ТПВ.
5. Фракції якого розміру превалюють у загальному змісті ТПВ?
6. Наявність яких хімічних елементів у складі ТПВ дозволяє використовувати їх як добриво?
7. В чому є небезпека ТПВ за санітарно-бактеріологічними властивостями?
8. Розкрийте сутність концепції "енергетичного балансу" при переробці ТПВ.
9. Метод рідкофазного окиснення ТПВ.
10. Метод гетерогенного каталізу сміття.
11. Газифікація ТПВ. Схеми процесів газифікації.

12. Піроліз відходів. Які продукти вивільняються при високотемпературному піролізі?
13. Утилізація відходів в порожнині підземного газогенератора.
14. На які стадії можна поділити процес спалювання відходів? Дайте характеристику кожної фракції.
15. Вплив викидів сміттєспалювальних заводів на людину.
16. Вплив викидів сміттєспалювальних заводів на навколишнє середовище.
17. Перерахуйте можливості зниження діоксинової небезпеки.
18. Яку небезпеку представляють шлаки, що утворюються при спалюванні ТПВ?
19. Які пріоритетні напрямки встановлено в країнах ЄС для зменшення кількості ТПВ.
20. Чому сортування та поділ відходів на складові фракції має велике значення для збереження ресурсів планети?
21. Концепція обігу з відходами, запропонована у Великобританії
22. В чому є переваги використання ВМР як сировини?
23. Яких переваг дозволяє отримати переробка відходів?
24. Напрями використання макулатури як вторинної сировини.
25. Напрями використання скла як вторинної сировини.
26. Напрями використання металу як вторинної сировини.
27. Сортування несорттованих відходів для одержання палива – RDF-пелети.
28. Які переваги та недоліки має схема сортування ТПВ за технологією фірми "Orfa"?
29. Які переваги та недоліки має схема сортування ТПВ за технологією фірми "Foster Wheeler"?
30. Дайте визначення терміну "полігон ТПВ".
31. Умови розміщення полігонів ТПВ.
32. Умови експлуатації полігонів ТПВ.
33. Яким чином здійснюють роботи з гідроізоляції полігонів ТПВ.
34. Порівняння традиційних гідроізоляційних робіт та технологій фірми Naue (Німеччина).
35. Охарактеризуйте принцип на основі якого створений універсальний ізолюючий матеріал Бентофікс.
36. Як пов'язана експлуатація полігонів ТПВ з так званним "парниковим ефектом"?
37. Дайте поширену характеристику аеробної фази розкладання ТПВ.
38. Дайте поширену характеристику метанової фази розкладання ТПВ.
39. Які гази виділяються при розкладанні ТПВ. Як приблизно змінюється їхній склад при переході з кислої фази до метанової?
40. В зв'язку з якими факторами дії можливе появлення другої аеробної фази?
41. Яка найбільша кількість органічної речовини розкладається в процесі анаеробного зброджування?

42. Охарактеризуйте зміну складу звалищного газу в обсязі смітника протягом часу.
43. Які процеси протікають при утворенні фільтрату ТПВ?
44. Технологія збору звалищного газу.
45. В чому є різниця між "італійською" та "голландською" технологіями збору звалищного газу?
46. Еколого-економічна рентабельність видобутку звалищного газу.
47. Перспективи використання звалищного газу в Україні.

## 5 ВІДХОДИ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Відходи агропромислового комплексу (рис. 5.1) значні за обсягом і зараз практично не утилізуються. Вони різноманітні за складом та представляють велику небезпеку для оточуючого середовища.

Інтенсивне забруднення оточуючого середовища в сільській місцевості пов'язане з тваринництвом, особливо в випадках концентрації великого поголів'я тварин на фермах, тваринницьких комплексах та птахофабриках. Джерелом цього виступають побічні продукти тваринництва: екскременти, гній, соки пресованих силосних культур, залишки мінеральних кормових добавок. З екскрементів і гною до атмосфери виділяються  $\text{NH}_3$  та  $\text{H}_2\text{S}$ . Видалення гною відбувається гідравлічним способом, що приводить до забруднення значних територій навкруги комплексів, фільтрації рідини гною до підземних та поверхневих вод, забрудненню сільськогосподарської продукції.



Рис. 5.1 – Класифікація відходів агропромислового комплексу

В той же час *рідкий гній* – *цінне органічне добриво*. Його можна використовувати у рослинництві[55, 56, 88]. Але його пряме використання в якості добрива не допустиме із-за наявності патогенних для людини

мікроорганізмів, таких як сальмонела та яйця гельмінтів. Знезараження гною можливе або шляхом природної біологічної очистки (довгострокова витримка у відстійниках-накопичувачах – рідкої фракції більше 8 діб, твердої – більше 6 тижнів) або шляхом штучного біологічного очищення (розподіл у відстійниках на рідку та тверду фракції з наступною аерацією рідини в аеротенках – 3...3,5 доби і біологічних ставках – більше 20 діб) [105].

Хімічні речовини, які застосовують у сільському господарстві, представлені мінеральними добривами, пестицидами, стимуляторами росту рослин та тварин, мінеральними кормовими добавками та ін. [16, 21, 30–31, 89–94]. Ряд хімічних речовин потрапляють у оточуюче середовище у вигляді технологічних втрат та відходів. Розсіяний характер сільськогосподарських хімічних забруднень робить практично неможливе очищення від них.

Близько 30 % внесених на поля мінеральних добрив потрапляють у водні об'єкти. Фосфорні та калійні добрива не дуже небезпечні, чого не скажеш про азотні. З них засвоюється всього 50...60 %, а залишки азоту у вигляді нітратів забруднюють ґрунт, підземні та поверхневі води. Калійні добрива не мають шкідливого впливу, але з ними у ґрунт потрапляють іони хлору, які викликають засолення ґрунтів. Перевищення норм навантаження добрив на ґрунт, більше 200 мг/кг ґрунту, викликає різке погіршення органолептичних властивостей і харчової цінності рослин [95].

Мінеральні мікродобрива вносять у ґрунт в невеликих кількостях. Полімінеральні мікродобрива містять від 0,3 до 1,0 % свинцю. При внесенні 20...50 кг/га існує реальна небезпека забруднення ґрунтів свинцем.

Шкідники сільськогосподарських культур знищують біля 1/3 врожаю. У 40-х роках для боротьби з ними стали застосовувати отрутохімікати. В середньому в світі на 1 га оброблювальних земель приходиться 0,3 кг пестицидів. З них біля 30 % потрапляють у водні об'єкти і залишаються у ґрунтах. Багато пестицидів мають кумулятивні властивості [21, 96–97].

Забруднення оточуючого середовища виникає в результаті зберігання мінеральних добрив і пестицидів під відкритим небом або в необладнаних складах.

Особливий вид забруднення пов'язаний з вторинним засоленням – процес накопичення шкідливих для рослин солей у верхніх шарах ґрунтів. Таке забруднення розповсюджено в районах безстічних низин. Найбільш пагубну дію оказують солі Na. Вторинне засолення може викликати зрошення. Солі в цьому випадку накопичуються за рахунок води, якою поливають, особливо коли вона має високу мінералізацію.

Небезпечними є продукти спалювання палива при застосуванні сільськогосподарської техніки, експлуатаційні та технологічні розливи паливно-мастильних матеріалів та їх зберігання в складах, які не обладнані.

Розглянемо більш детально, що представляють собою так звані хімічні засоби захисту рослин (ХЗЗР), як вони впливають на навколишнє середовище та людину та які існують в наш час методи їх переробки та утилізації.



## **5.1 ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ**

Екологічно небезпечні фактори представляють собою такі види антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, які сприяють і (або) приводять до якісних і кількісних порушень в екологічних системах, впливаючи на життєздатність і адаптацію, розмноження, зростання, поведінку та виживання окремих особин і популяцій, у цілому.

1. За даними Н.Н. Мельникова [30], тільки випробуванням на пестицидну активність щорічно зазнають близько 200 000 хімічних сполук.

Регламентувати такий масив токсикантів не представляється можливим, тому Міжнародні організації (UNEP, WHO, ILO, FAO) були змушені орієнтувати вповноважені наукові та контролюючі організації сконцентрувати зусилля, насамперед, на вивченні стабільних у навколишньому середовищі з'єднань, 12 груп яких були визнані найнебезпечнішими для людства в сучасних умовах.

До них, поряд з важкими металами, ПАР, поліхлорбензолами, фуранами та іншими стабільними в навколишньому середовищі й високо токсичними з'єднаннями віднесені також ХЗЗР, як частіше називають просто – пестицидами.

У травні 2001 р. була прийнята Стокгольмська конвенція, що регламентує обіг зі стійкими органічними забруднювачами (СОЗ) навколишнього середовища. Список СОЗ відкривають 12 найнебезпечніших для навколишнього середовища та здоров'я людей хлор-містящих речовин, 9 з яких відносяться до пестицидів: ДДТ, альдрин, діельдрин, ендрин, хлордан, гептахлор, мірекс, токсафен, гексахлорбензол [98, 99].

2. Згідно визначенню Н.Ф. Рейсмерса [100], пестициди – хімічні сполуки, які використовують для захисту рослин, сільськогосподарських продуктів, деревини, виробів з вовни, бавовни, шкіри, для знищення ектопаразитів тварин і боротьби з переносниками небезпечних інфекційних і паразитарних захворювань.

У [21, 101] дається інше визначення: пестициди – хімічні речовини, що мають яскраво виражену токсичну дію на ті або інші форми живих організмів, починаючи з мікроорганізмів, бактерій, грибків і закінчуючи теплокровними тваринами.

Більш детальна класифікація ХЗЗР показує, що до них відносять регулятори росту та розвитку рослин (ауксини, гібериліни, ретарданти), засоби видалення листів (дефоліанти), засоби знищення рослин на корені (десіканти), засоби видалення квітів і зав'язей (дефлоранти), засоби відлякування комах (репеленти), засоби залучення комах (аттрактанти), засоби стерилізації (хеMOSTерілізатори) та ін.[21].

**Як такої загальної систематичної класифікації пестицидів не створено.** Існують класифікації декількох типів:

Відповідно однієї з них усі існуючі ХЗЗР підрозділяють на дві групи:

1) **неорганічні**, що містять з'єднання миш'яку, сульфуру, міді, кадмію, цинку та ін.;

2) **органічні** – представлені різними речовинами органічного походження. Друга класифікація підрозділяє всі існуючі пестициди на чотири групи:

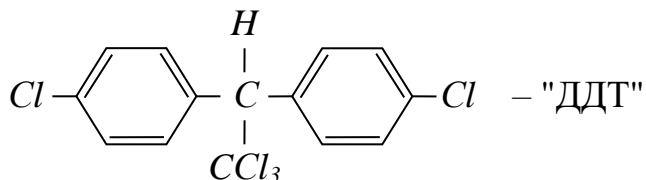
- 1) хлорпохідні вуглеводнів (ХПВ);
- 2) фосфорорганічні з'єднання (ФОС);
- 3) карбонатні з'єднання (КЗ);
- 4) хлорфенольні похідні (ХФП).

Про кількість накопичених у навколишньому середовищі пестицидів (вони є отрутами, які інтенсивно накопичуються або акумулюються) можуть служити дані про існуючу в СРСР середню норму використання пестицидів на 1 га ріллі – 2 кг в 1986 р. або 1,4 кг на душу населення [21, 30, 102–104].

**Розглянемо механізм і характер впливу ХЗЗР на живі організми.**

Як приклад у кожній із чотирьох груп загальної класифікації приводяться деякі з найпоширеніших марок цих речовин.

- 1) хлорпохідні вуглеводнів (ХПВ).

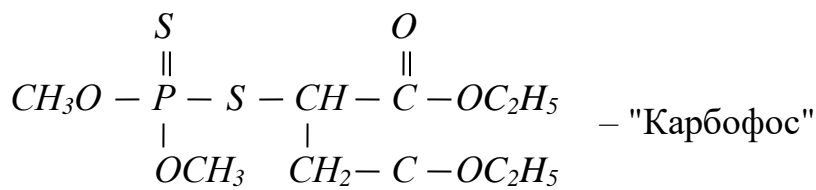


4,4'-діхлордіфенілтрихлорметилметан

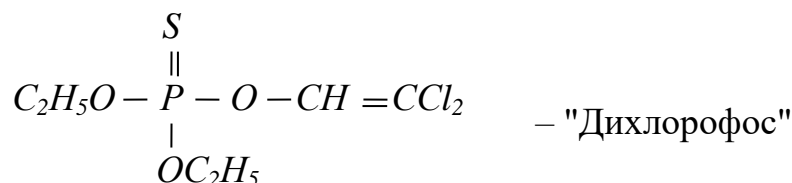
За даними [21, 30, 101] **механізм впливу** ДДТ на живі організми дотепер ще повністю не ясний. Можливо, саме тому його виробництво та застосування було припинено в 1971 р. у США, Великобританії, Німеччині та ін. країнах.

- 2) фосфорорганічні сполуки (ФОС).

Збільшення їх виробництва в більшості промислово розвинених країн сприяло **підвищенню часткової опірності комах до дії на них ХПВ** [106].



O,O-діметил-S-1,2-дікарбетоксіетилдітіофосфат



O,O-діетил-2,2-діхлорвінілфосфат



*пестицидів у різних видів із часом зрівнюється, збільшення концентрацій виявляється неефективним.*

Тому **ТРИВАЛЕ ЗАСТОСУВАННЯ ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ** зі шкідниками рослин **ЕКОЛОГІЧНО НЕПРИЙНЯТНО**.

Основою для заборони ХЗЗР з'явилася висока їхня токсичність для теплокровних, наявність виражених віддалених ефектів, дуже висока стійкість в умовах навколишнього середовища, тобто збереження протягом декількох років, а також здатність накопичуватися в органах і тканинах живих організмів [21, 30, 101, 106, 108].

Таке нагромадження можна наочно проілюструвати структурною схемою, що показує кратність нагромадження стійких ХЗЗР у живих організмах водного середовища для декількох трофічних рівнів живлення (рис. 5.2).

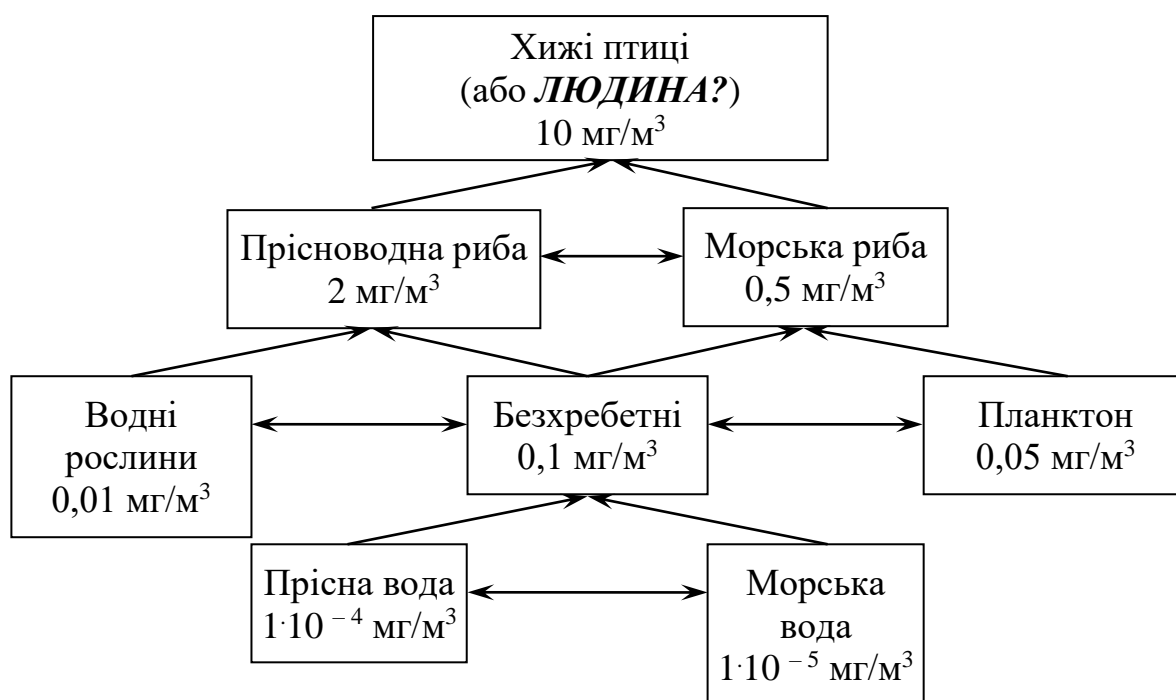


Рис. 5.2 – Схема переносу та кратності нагромадження стійких ХЗЗР у живих організмах водного середовища [70]

Це необхідно враховувати при формуванні стратегії захисту рослин, що, на жаль, залишається практично поза сферою регулювання даного виду діяльності. В зв'язку з цим виникає проблема токсичних відходів у сільському господарстві.

Потрапляючи в ґрунт ХЗЗР поглинаються рослинами (особливо їх підземною частиною), ґрунтовою фауною, через яку передаються по ланцюгу живлення птахам та іншим тваринам. Винесені з ґрунтів повітряними й водними потоками в акваторії, через зоопланктон, рачків і риб також попадають до птахів і ссавців. Іншими словами, з рослинною, м'ясною, молочною (*особливо!*) і рибною продукцією, так чи інакше попадають на стіл до людини. Висока стабільність цих речовин сприяє їхній багаторазовій циркуляції по ланцюгах живлення [21, 30, 70, 96, 97, 109].

У біосфері ХЗЗР швидко поглинаються та практично не змінюються під впливом фізичних, хімічних і біологічних факторів середовища. Завдяки здатності до утворення комплексів, більшість їх міцно зв'язується з органічними речовинами ґрунту, сорбується в залишках загиблих ґрунтових мікроорганізмів і омертвілих частинах рослин [21, 30–31, 70, 93–97, 109].

Таким чином, різні об'єкти навколишнього середовища є надійними сховищами цих отрут.

Подальша дія на навколишнє середовище визначається властивостями об'єктів, з якими вони зв'язуються. Їхня вертикальна та горизонтальна міграції в ґрунтах можлива тільки для ряду тропічних районів, де в ґрунтах переважають водорозчинні органічні речовини. У ґрунтах інших типів, що містять нерозчинні у воді органічні речовини, вони міцно зв'язуються у верхніх шарах і поступово накопичуються в залишках загиблих організмів [21, 30–31, 70, 93–97, 109–110].

Із ґрунтів ХЗЗР виводяться переважно механічним шляхом. Комплекси з органічними речовинами відрізняються низькою щільністю. Загиблі організми, що містять їхні залишки, видуються з поверхні ґрунту вітром, вимиваються дощовими потоками. Ці залишки спрямовуються в низовині та акваторії, створюючи нові вогнища зараження (місця скупчення дощової води, озера, донні відкладання рік, каналів, прибережної зони морів і океанів)[70].

На думку в'єтнамського хірурга, професора Тон Тхат Тунга, ефективне біологічне перенесення ХЗЗР у природі сприяє постійному їхньому нагромадженню теплокровними, причому ступінь нагромадження у теплокровних зростає зі збільшенням змісту отрути в навколишньому середовищі [70]. В організмі теплокровних більшість ХЗЗР первісно попадають у жирові тканини, а потім перерозподіляються, накопичуючись переважно в печінці, потім у тимусі та інших органах.

Їхнє руйнування в організмі незначно: вони виводяться в основному незмінними. Період напіввиведення коливається від декількох десятків днів (миша) до року й більш (примати) і звичайно зростає при повільному вступі в організм.

### **5.1.1 Ситуація з пестицидами в Україні**

За даними І.М. Трахтенберга [96], щорічно в Україні в ґрунт вноситься 1 млн. 700 тис. центнерів пестицидів і 150000 т мінеральних добрив. З ними надходить у ґрунт 1800 т свинцю, 400 т кадмію, 2200 т цинку, 200 т міді, 67000 т фтору, більш 1,4 млн. т хлору.

Особливу тривогу викликає екологічна ситуація, яка складається в Україні у зв'язку з нагромадженням ХЗЗР як відходів. Пестициди були синтезовані та знайшли широке застосування в сільському господарстві для підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Серед них є певна кількість речовин з високою токсичністю.

Поняття "непридатні до використання пестициди" (далі НП) охоплює хімічні засоби захисту рослин, які заборонені для застосування, втратили свої властивості [21, 30–31, 70, 93–97, 109]. Також до цієї класифікації відносяться їх суміші та невідомі препарати. НП складають окрему групу високонебезпечних відходів. Накопичення НП на території колишнього СРСР і, зокрема, України почалося в 60-х рр. ХХ ст. Початок був покладений заборонаю ДДТ в 1971 р., потім, наприкінці сімдесятих – поліхлорпропілену та поліхлоркамфену (токсафену).

До 1989 р. список заборонених препаратів вже нараховував більш 70 з'єднань [99]. Затверджений в 1998 р. перелік включав 89 пестицидних препаратів. На сьогоднішній день обсяги нагромадження пестицидів на території України становлять 20,2 тис. тонн. Сам шлях нагромадження НП визначає наявність не просто небезпечних, а високо або надзвичайно небезпечних з'єднань.

Друге джерело нагромадження – це непридатні препарати, тобто такі, що втратили товарний вид внаслідок неправильного транспортування або зберігання, а також пестициди з терміном придатності, що закінчився. У цьому випадку, небезпеку представляє сам строк зберігання, причому, нерегламентованого зберігання, у результаті якого могли утворюватися продукти розпаду або навіть суміші препаратів [21, 30–31, 70, 93–97, 109].

*За даними офіційної статистики* в Україні на сьогодні накопичено 13,5 тис. т. НП, які зберігаються в 109 сховищах централізованого зберігання та приблизно на 4 тис. складах, розташованих безпосередньо в господарствах різної форми власності [2]. За іншими даними [26, 91–94, 97, 111, 112] дійсна кількість накопичених в агропромисловому комплексі НП значно більша та складає не менш, як 22...25 тис. тонн, з яких:

- заборонених пестицидів (група А) 35...40 %;
- непридатних для використання пестицидів (група Б) – біля 10 %;
- сумішей та невідомих пестицидів (група В) – 50...55 %.

Серед НП, що відносяться до груп А та Б, препарати I та II класів небезпечності складають біля 80 %.

За хімічним складом діючі речовини НП груп А та Б належать, головним чином, до хлорпохідних вуглеводнів (50 % від загальної кількості), сполук карбамінової кислоти (22 %), неорганічних сполук (8 %).

Наведені цифри дуже приблизні та враховують НП накопичені тільки в агропромисловому комплексі до 1991 р. Скільки таких речовин накопичилося після 1991 р. та де зберігаються – відповіді немає. Причиною тому є те, що система Украгрохіму була зруйнована, а нової системи контролю за виробництвом, ввезенням та використанням пестицидів не було створено [91–94].

За останні роки відбулася неодноразова зміна власників НП. Це призвело в багатьох випадках до втрати маркування та документації. У більшості випадків накопичення НП не знаходяться на балансі конкретних юридичних осіб, контроль над їх станом практично відсутній. Це сталося після поетапної ліквідації спочатку Сільгоспхімії України, потім Украгрохіму, коли були

приватизовані найбільш рентабельні їх підрозділи. Багато сховищ НП кинуті напризволяще.

Стан більшості складів оцінюється як аварійний, охорона їх відсутня, отже, не виключено не тільки спонтанне попадання небезпечних речовин в оточуюче середовище, а й несанкціонований доступ до них з непередбачуваними наслідками. Такі випадки вже неодноразово фіксувалися, у тому числі і органами прокуратури. Під час тривалого зберігання НП у непристосованих умовах без контрольного переміщення їх з одного сховища в інші утворилися суміші. Є підстави припускати, що в деяких випадках у цих сумішах відбулися хімічні реакції, у результаті яких могли виникнути нові речовини з невідомими властивостями. На сьогоднішній день більшість накопичень складається з неідентифікованих речовин.

Можливі шляхи трансформації пестицидів представлені в табл. 5.1.

Слід зауважити, що багато складів розташовано поблизу водойм і в місцях з високим рівнем ґрунтових вод. Це додатково підвищує імовірність попадання високотоксичних сполук у водне середовище. Доведено, що хлорорганічні сполуки, виявлені при дослідженнях артезіанської води, взятої з глибини до 600 м, є або діючими речовинами випускних форм пестицидів, або продуктами їх метаболізму.

Враховуючи, що за останні 8 років використання в сільському господарстві України пестицидів зменшилося в 5...7 разів, можна стверджувати, що джерелом забруднення артезіанської води є накопичення НП.

***Подальше накопичення та зберігання НП у непристосованих сховищах, безперечно, являє собою постійно зростаючу небезпеку для навколишнього середовища та здоров'я людей і загрожує не тільки екологічною катастрофою, а й безпосереднім впливом на молекулярному рівні на мутагенез людини.***

***Наявність безгосподарних накопичень НП створює ризик незаконного їх використання, який ще більше підвищує небезпеку. Отже, проблема НП потребує комплексного й системного підходу й може бути вирішена тільки на державному рівні.***

Треба розуміти, що на сьогодні у світі немає жодної технології поводження з НП, яка б не впливала більшою або меншою мірою на довкілля та здоров'я людини.

Стан проблеми НП, який ми маємо в Україні, не має світових аналогів[21, 30–31, 70, 93–97, 108–112]. Справа не тільки в тому, що накопичена велика кількість НП, а й у тому, що до 109 складів централізованого зберігання ввозилися НП, як правило, з декількох районів, а в ряді випадків – областей. У більшості випадків НП виробляли не там, де використовували. Наприклад, у Вінницькій області є склад, де знаходиться 1100 т НП, які завезено до нього з 9 областей України.

Таблиця 5.1

Приклади токсичної трансформації пестицидів і агрохімікатів  
[21, 30–31, 70, 93–97, 108–112]

Вихідні з'єднання	Сприятливі фактори	Тип реакції	Продукти трансформації	Характер токсичної дії
Похідні фосфорної та дітіофосфорної кислот	Інсоляція, волога, кисень повітря	Гідроліз, окиснення	Фосфати, дітіофосфати	Системне токсичне
Хлоровані циклічні та поліциклічні з'єднання (ГЦХГ, ДДТ, поліхлоркамфен)	Пожежа, взаємодія з азотними добривами, порушення технології знешкодження	Піроліз, синтез	Фосген, хлорціани, хлоровані дібензодіоксини, дібензофурани	Системне токсична, нейротоксична, віддалені ефекти дії
Похідні хлорфеноксі–алкілкарбонових кислот	Висвітлення, волога	Гідроліз	2, 4–Д–кислота, хлорфеноли	Загально-токсична, нейротоксична дія
З'єднання ртуті (гранозан)	Природні процеси в ґрунті й воді	Розкладання, синтез	Метил-ртуть	нейрон-токсична
Селітра	Пожежа, контакт із відновниками	Розкладання, відновлення	Оксиди азоту	Задушливе

У кожному конкретному випадку, що торкається проблеми небезпечних відходів, виникає дуже складний комплекс питань, пов'язаний у першу чергу з недостатньою екологічною свідомістю не тільки населення, громадських та політичних діячів, а й з відсутністю такої свідомості та здорового глузду в більшості представників органів державної виконавчої влади та місцевого самоврядування, представників контролюючих та наглядових органів. Треба дуже уважно та обережно розглядати питання поводження з небезпечними відходами, враховуючи всі найважливіші фактори та обставини, перш ніж виносити остаточне рішення.

**Вирішення проблеми поводження з НП повинне здійснюватися за двома головними напрямками: попередження накопичення НП, утилізація, знешкодження та знищення накопичених НП.**

В Україні не було практичного досвіду проведення таких робіт. Досвід же розвинених країн свідчив, що розв'язання проблеми утилізації та знешкодження



непридатних пестицидів вимагає тривалого часу, значних коштів і можливе лише при комплексному підході на загальнодержавному рівні. На жаль, міжнародний досвід у повному обсязі не може бути використаний у сучасних умовах України. Україні необхідно шукати свій шлях вирішення зазначеної проблеми.

Аналіз цього стану показує, що в економіці України склалася унікальна ситуація, коли без значних витрат можна створити необхідну науково-технологічну та виробничу інфраструктуру в сфері поводження з НП[48]. Це пов'язане зі спадом виробництва в таких галузях, як металургійна, хімічна, коксохімічна промисловість, промисловість будівельних матеріалів тощо. Ці виробництва мають фахівців, потужності, захисні споруди, інфраструктуру тощо, які за певних умов можна успішно використати для утилізації, знешкодження та знищення НП. На сьогодні є ціла низка підприємств, готових починати переробку НП. Але для цього слід отримати відповідні дозволи та вирішити соціально-психологічні проблеми, а також питання, що стосуються переробки "чужих" небезпечних відходів.

План першочергових заходів з організації сфери поводження з НП охоплює такі головні напрямки роботи:

- обстеження місць накопичення НП;
- інвентаризація і хімічна ідентифікація накопичених НП;
- розроблення по кожному місцю накопичення НП конкретного плану дій;
- перезатарювання НП;
- створення проміжних цивілізованих складів тимчасового зберігання НП з метою їх сортування та визначення подальших шляхів поводження з ними;
- транспортування НП до місць їх подальшої переробки або знищення;
- створення на базі існуючих найбільш пристосованих для цього діючих підприємств спеціальних Центрів переробки та видалення НП;
- видалення НП.

Для створення проміжних складів тимчасового зберігання НП, на думку фахівців, найбільш придатні військові склади або підземні схови танків і літаків.

Визначено існуючі технології та технічне устаткування, які пропонується використовувати для переробки НП:

- технологія тонкого органічного синтезу;
- вагранки та інші шахтні обпалювальні печі;
- обертові обпалювальні цементні печі.

Можна запропонувати приблизно такий перелік першочергових заходів, які мають бути виконані у можливо короткі терміни:

1. Оцінка наявності та локалізації НП, визначення заходів по поводженню з ними по етапах (збирання, зосередження у проміжних сховищах, обирання і впровадження технологій ліквідації), здійснення ліквідації.

2. Обстеження невідпорядкованих звалищ НП і контроль впорядкованих сховищ та звалищ, що знаходяться в загрозовому становищі; визначення

національного комплексу технічних заходів по реабілітації цих сховищ, початок здійснення цих заходів з урахуванням екологічного ризику, економічних і технічних можливостей.

3. Оцінка можливостей ізоляції (захоронення) НП, вибір ділянок під полігони, початок їх підготовки (згідно з економічними можливостями).

4. Розробка виробничих схем переробки з метою утилізації і видалення НП.

5. Створення інформаційно-аналітичної системи з проблем НП.

6. Робота з громадкістю, з місцевими органами виконавчої влади та самоврядування щодо поводження з НП.

Середньострокові та довгострокові заходи повинні мати за мету поступове впровадження в практику ефективних організаційних, технологічних та інших методів вирішення проблеми НП як в рамках програми поводження з такими пестицидами, так і з урахуванням більш широкомасштабних заходів, які мають бути передбачені іншими державними комплексними програмами екологічного характеру.

Для стимулювання діяльності з ліквідації НП необхідно, у відповідності з Законом "Про відходи", визначити власників зазначених НП, скласти реєстр місць накопичення НП, видати ліміти на утворення та розміщення НП, встановити відповідну плату за це. В Цільовому державному, обласних та місцевих фондах охорони навколишнього природного середовища слід визначити спеціальну статтю видатків на ліквідацію накопичених НП.

### **5.1.1.1 Ситуація з пестицидами в Одеській області**

Ситуацію, що склалася в Одеській області можна проілюструвати на основі наступних матеріалів [26, 27].

В області накопичено більш як 700 т заборонених та непридатних до застосування отрутохімікатів. На 8 складах ВАТ "Райсільгоспхімія" зосереджено 372 т хімічних засобів, решта зберігається на 145 складах колективних сільгосп підприємств та радгоспів. В області знаходиться сховище 800 т ДДТ з затонулого в 1974 р. судна "Моздок", яке було збудовано як тимчасове. *Більша частина цих складів не відповідає санітарним вимогам.*

НВО "Одеський біотехнологічний інститут" були проведені комплексні фізико-хімічні, лабораторні дослідження НП[26].

Підставою для проведення досліджень з'явилося розпорядження Одеської облдержадміністрації від 19.01.1996 г. №32/-96А "Про токсичні промислові відходи в Одеській області" [27].

Об'єктами досліджень були саме колективні господарства та склади АТ "Сільгоспхімія", на яких накопичено пестициди із простроченим терміном дії, змішані, з порушеним упакуванням і маркуванням або без такої. Крім того, була проведена гігієнічна експертиза отрутохімікатів, що потрапляють з-за кордону, для з'ясування питання обліку цього фактора при централізованих і локальних поставках такого роду препаратів.

Метою роботи було: на основі визначення кількості, хімічного складу, токсичності, умов зберігання відходів і залишків пестицидів запропонувати способи їх депонування.

У роботі використані хіміко-аналітичні, токсикологічні, гігієнічні, математичні та екологічні методи дослідження. Проведено вивчення документації на відходи пестицидів, що зберігаються в господарствах і на складах "Сільгоспхімії". Також виконано фізико-хімічні дослідження проб, доставлених у лабораторію, виділені зразки для токсикологічних експериментів. Дана оцінка гострої токсичності відібраних препаратів.

Вибіркове обстеження складів, де зберігаються накопичені відходи пестицидів, показало, що вони не відповідають вимогам безпеки й не виключають можливості вступу діючого початку препаратів у навколишнє середовище. ХЗЗР представляють: 78,4 % проб – тверді; 15,7 % – рідкі і 5,9 % – пастоподібні речовини. За обумовленим індивідуальним або домінуючим в суміші компонентом 52,0 % з них відносяться до хлорорганічних; 21,3 % – до ФОС; 16,0 % – до похідних карбамінової та дітіокарбамінової кислот; 6,7 % – до нітропохідних фенолів; 4,0 % – до інших класів хімічних сполук.

Однак такий розподіл не відбиває суть питання, тому що, наприклад, хлорорганічні з'єднання присутні в 93,7 % проб. ***Це принципово важливо з позицій оцінки ступеня ризику впливу на біологічні об'єкти й населення, а також пошук ймовірних шляхів знешкодження та депонування відходів.***

Як показали результати фізико-хімічних досліджень, ***препарати не втратили стійкості в кислотах, зберегли рН і розчинність практично на рівні паспортних даних.***

Хоча при зберіганні пестицидів їх фізико-хімічні властивості прогресивно змінюються у наступному ряді: сімметріазини > карбамати > ФОС > ХОП, у ряді випадків вони залишалися майже ідентичними нативним препаратам. Так, пропанід розчинявся в бензолі 4 г/100 моль (нативний – 7), в етанолі – 89,4 г (нативний – 110), в ацетоні – 153,8 г (нативний – 170). Зміст ПАР в препаратах знизився в 4 рази, сольвенту – в 2,7 рази, циклогексанону – в 8,4 рази, тоді як рівень 3,4-діхлорприонаніліду збільшився на 11,6 %.

Проте, істотне підвищення проти нормативних величин змісту продуктів трансформації та метаболітів частково пояснює факт іноді більш високої токсичності досліджених ХЗЗР, відносно даних літератури [111]. У цьому плані слід указати на високий зміст у них ДДД і ДДЕ (метаболітів ДДТ), а також продуктів більш глибокого перетворення (діхлорбензофенон, 4,4-діхлорбіфеніл), що володіють канцерогенною активністю. І хоча активність багатьох препаратів досить висока, їх застосування заборонене, у тому числі й у зв'язку з можливістю віддалених наслідків (ДДТ, ДНОК, ТМТД, манеб, хлорофос, цинеб, фосфамід та ін.).

Важливою позицією при оцінці небезпеки ХЗЗР, що зберігаються є дані токсикометрії, яку здійснювали відповідно до прийнятих у вітчизняній токсикології принципів [31]. При цьому визначали середньо-смертельні дози (ЛД<sub>50</sub>) при введенні препарату в шлунки білим пацюкам (табл. 5.2). Також оцінювали місцево-дратівну, шкірно-резорбтивну та алергенну дію, а також

ступінь кумуляції при різних шляхах потрапляння препаратів в організм експериментальних тварин.

Як слідує з наведених у табл. 5.2 даних, серед досліджених препаратів є речовини різних класів небезпеки. І хоча ступінь небезпеки трохи змінилася, до I класу небезпеки відносяться – 11,6 %, до II – 26,9 %, до III – 34,6 % і до IV – 26,9 % досліджених проб.

Більшість ХЗЗР проявило місцево-дратівну дію, викликаючи запалення на місці нанесення вже після однієї аплікації. Ознаки сенсibiliзації були виявлені в 26,9 % відібраних на токсикологію препаратів, а шкірну резорбцію мали більш 40 % вивчених ХЗЗР. Ці препарати нерідко мали також кумулятивні властивості, більш чітко виражені при перкутанному шляху потрапляння в організм. Вони проявляються за даними токсикометрії, біохімічними змінами і поведінковими реакціями у лабораторних тварин. Токсикологічні дослідження дозволили розібратися в домінуючих складових багатокомпонентних сумішей, до яких належить більша частина досліджених проб, а також послужили основою для більш строго контролю над зберіганням і долею розглянутих ХЗЗР.

Таблиця 5.2

Розподіл відходів пестицидів по класах небезпеки відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.007-76 по провідному діючому компоненту[31]

№ проби	Провідний компонент	ГДК <sub>р.з.</sub> мг/м <sup>3</sup>	За ДСТ		Фактично	
			ЛД <sub>50</sub> , мг/кг	Клас небезпеки	ЛД <sub>50</sub> , мг/кг	клас небезпеки
6.	Севин	1,0	400	II	678±46	III
8.	Рогор	0,5	250	II	418+31	III
9.	ГЦХГ	0,05	50	II	78+29	II
13.	Метафос	0,1	25	I	117+8,3	II
15.	Нитрофен	1,0	1630	III	1726±154	III
19.	Трефлан	5,0	1500	III	2540±183	IV
20.	ТМТД	0,5	780	II	959±47	III
21.	Гексахлорбензол	0,9	1300	II	1428+112	III
23.	Полікарбацин	0,1	660	II	1824±213	IV
25.	ДДТ+ДДЕ+ДДД	0,1	450	II	357±29	II
26.	ГЦХГ+ДДТ	0,05	50	I	37,8±16,9	I

Важливим питанням є процес утворення запасів відходів пестицидів, нагромадження яких відбувається за рахунок неправильного визначення потреби в конкретних препаратах і формах, а також небажанням фірм-виробників приділяти увагу цьому питанню. Досвід експертизи імпортованих пестицидів показує, що в супровідних документах і результатах еколого-гігієнічних досліджень, проведених постачальником або гігієнічними центрами, цей аспект проблеми упускається, а виникаючі труднощі долаються винятково силами й засобами споживачів.

Проблема відходів і залишків пестицидів є актуальною не тільки для Одеської області та інших регіонів України [2, 21, 26, 31, 93–97, 108–112]. За рідкісним винятком, склади, у яких зберігаються ХЗЗР, представляють пристосовані приміщення. Частіше вони перебувають в аварійному стані, частково зруйновані, розібрані, без покрівлі, вікон і дверей. Вони в ряді випадків перебувають на території, яка не охороняється та не обладнана. Це робить імовірними витік, розпилення та інші способи міграції відходів, що зберігаються, у навколишнє середовище, а також розкрадання препаратів з непрогнозованими наслідками. Як наслідок, це викликає необхідність вживання невідкладних заходів за рішенням питання про долю даного виду токсичних відходів в Одеській області.

Найбільш радикальний і доступний шлях – депонування ХЗЗР. Запропоновано [93–97, 108–112] здійснити концентрацію відходів на складах відділень АТ "Сільгоспхімія" або в господарствах із задовільно обладнаними складами. Планується попередньо здійснити їхню контейнеризацію з подальшим розв'язком питання про депонування в спеціальних сховищах. Створена конструкція контейнера, запропоновані матеріали, використання яких дозволяє герметизувати ХЗЗР та гарантувати безпечне їх зберігання протягом 15...20 років. Очевидно, що навіть за умов точного додержання усіх інженерних і санітарно-технічних нормативів подібні депонування не можна вважати екологічно безпечними, скоріше, їх треба розглядати як джерела потенційних екологічних лих.

Такий підхід узгоджується із загальними тенденціями в розв'язку проблеми утилізації та депонування токсичних відходів на сучасному етапі [20]. У ході еколого-гігієнічної експертизи та регламентації імпортованих препаратів висувається вимога обліку питань утилізації утворених відходів і нереалізованих залишків пестицидів.

Згідно зі Стокгольмською конвенцією, усім країнам-учасникам протягом двох років після набрання нею чинності слід розробити та прагнути здійснити план дій по зобов'язаннях, передбачених в [98]. Конвенція ратифікована Верховною Радою України. У зв'язку із цим видалення наявних запасів СОЗ в Україні стає ще більш актуальним. Тим часом відомості про сучасні технології, які запропоновані для ліквідації СОЗ, розкидані по численних і найчастіше малодоступних джерелах.

Мета наступного матеріалу – звести воедино дані про методи видалення СОЗ, коротко описавши їх можливості. На сьогоднішній день не вся інформація доступна, тому даний огляд не слід розглядати як вичерпний, однак він може виявитися корисним не тільки фахівцям з переробки небезпечних відходів, але й тим, від кого залежить прийняття рішень відповідних питань, а також недержавним екологічним організаціям.

## 5.2 МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ПЕСТИЦИДІВ

Аналіз інформації щодо поводження з НП показав, що універсального способу утилізації або знищення їх не існує.

Найбільш розповсюдженими загальними способами ліквідації небезпечних відходів, особливо промислових, є спалювання або депонування на спеціально обладнаних полігонах. Додатково використовують біологічні, хімічні або фізичні способи обробки, які призводять до повного руйнування токсичних компонентів або, що частіше, до істотного зменшення їх токсичності.

Оптимальний вибір того чи іншого підходу визначається фізико-хімічними властивостями даного матеріалу, кількістю матеріалу, що підлягає знищенню, а також економічними та екологічними чинниками. Тому доцільно стисло розглянути усі відомі способи ліквідації НП.

**Депонування на полігонах.** Для СОЗ поховання на полігонах (звичайно в котлованах під шаром землі) – це не технологія знищення, а всього лише метод зберігання, причому вкрай неефективний. Депоновані речовини неминуче надходять у навколишнє середовище, насамперед за рахунок витоків у ґрунтові води та випару в повітря. Наукові дослідження в промислово розвинених країнах показують, що навіть побудовані згідно останньому слову техніки полігони ефективні протягом перших 10 років. Це пов'язане з поступовим погіршенням якості захисної полімерної ізоляції для стінок і дна котловану, у результаті чого починається витік з наступним забрудненням ґрунтових вод. Нереально, щоб захисні покриття смітників запобігали вступу вологи усередину протягом усього часу, так як відходи завжди будуть являти загрозу.

Характерним прикладом може служити депонування в 1976 р. більш 1000 т пестицидів, в основному хлорорганічних, на спеціально спорудженому полігоні у Вінницькій обл. Лабораторний контроль стану навколишнього середовища на межах полігону показав, що з 1985 р. у ґрунті стали виявлятися хлорорганічні пестициди [93, 94, 97]. Такі депонування слід вважати джерелом потенційних екологічних лих.

Депонування рідких небезпечних відходів не допускається.

Багато пестицидів, наприклад, ФОС, похідні тіо- та карбамінової, дітіо- і дікарбамінової кислот (так звані карбамати), а також карбонових кислот легко піддаються гідролізу, особливо в лужному середовищі. Як правило, продукти гідролізу є менш токсичні, ніж вихідні речовини. Гідроліз є також першою стадією біологічного розкладу таких пестицидів у ґрунті, причому при вапнуванні ґрунту цей процес значно прискорюється.

Хлорорганічні ХЗЗР зазнають також **біодеградації в ґрунті**, хоча швидкість такого процесу незначна [87, 91–92, 111]. Проте за сприятливих анаеробних умов і в слаболужному середовищі швидкість їх розкладання помітно зростає. Для знищення ХЗЗР можна застосовувати анаеробні біореактори. Такий **реактор представляє** бетоновану ємність, у яку завантажують суміш з органічного субстрату (наприклад, соломи, бадилля, палого листя та інших відходів органічного походження), підживлення

(азотних, фосфорних і калійних добрив) і пестицидів, які підлягають знищенню. Необхідно визначати та підтримувати оптимальні умови біодеградації: вологість, рН, концентрацію мінерального підживлення та ін.

Принципово інший спосіб знешкодження полягає в **іммобілізації шкідливих речовин**, яка запобігає їх міграції в навколишнє середовище. Суть способу полягає у введенні пестицидів, що підлягають знищенню в сировину для виробництва таких будівельних матеріалів, як бетон, кераміка або асфальт. Хлорорганічні сполуки в асфальті розчиняються, і це дає підставу вважати їх надійно іммобілізованими.

У Київському інженерно-будівельному інституті розроблено технологію так званого **омонолічування**, оснований на іммобілізації різноманітних екотоксикантів у шлаколуужних бетонах. Ці бетони мають високу довговічність і корозійну стійкість, добре зв'язують токсичні домішки, причому кількість токсичних речовин I та II класів небезпеки може досягати 50 кг/м<sup>3</sup> бетону.

Розглянуті вище способи реально придатні для ліквідації порівняно невеликих кількостей шкідливих речовин і навряд чи можуть бути використані як основні для кардинального вирішення проблеми накопичених в Україні 20...25 тис. т непридатних пестицидів.

**Депонування твердих форм нерозчинних у воді пестицидів на обладнаних полігонах хоча й можливе, але його слід розглядати лише як тимчасову й вимушену міру при повній відсутності альтернативних підходів.** В умовах звичайних для України ґрунтів, з порівняно високою проникливістю, створення надійних могильників технічно складне й надзвичайно дороге.

Найбільш універсальним і розповсюдженим у всьому світі засобом знешкодження та ліквідації небезпечних відходів є їх **спалювання** [37]. Це підтверджено стандартами поводження з небезпечними відходами, прийнятими Агентством з охорони навколишнього середовища США, оскільки при цьому не відбувається забруднення ґрунту та ґрунтових вод.

У рекомендаціях Британської Королівської комісії з охорони навколишнього середовища [39] наведені критерії відбору відходів, що підлягають спалюванню. Серед цих критеріїв для теми цього огляду суттєві наступні:

- якщо відходи важко піддаються біологічному розкладанню та стійкі в навколишньому середовищі;
- якщо відходи не можуть бути використані у вигляді вторинної сировини;
- якщо відходи не можна депонувати безпечним для навколишнього середовища методом;
- якщо відходи містять органічно зв'язані галогени, N, P, S або такі метали як свинець, ртуть, кадмій і цинк.

**Оскільки ХЗР повністю відповідають цим критеріям, необхідно вважати, що саме спалювання є найбільш доцільним способом ліквідації.**

Однак, ні в Україні, ні в інших країнах СНД таких печей, що відповідають усім сучасним вимогам, не існує, а будівництво їх, наскільки відомо, не ведеться.

Більшість накопичених пестицидів відноситься до хлорорганічних сполук, які складають найбільшу небезпеку. Тому доцільно спершу розглянути споріднену проблему – спалювання промислових хлорорганічних відходів.

Джерелом таких відходів в основному є підприємства хлорорганічного синтезу, і щороку у світі спалюють понад 1 млн. т хлорорганічних відходів. Для цього використовуються печі різних типів, спроможні забезпечити оптимальні умови глибокого окиснення відходів. Найбільш істотними чинниками, що визначають глибину окиснення, є температура, час перебування матеріалу в зоні реакції, міра турбулентності та кількість  $O_2$ .

Температура в печі залежить від теплотворної спроможності відходу, швидкості подачі палива і парціального тиску  $O_2$ . Ефективне спалювання хлорорганічних сполук вимагає температури не нижче  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ , як визначено екологічними стандартами ЄС, а для повного руйнування діоксинів час перебування газів при такій температурі повинний бути не менш 2 с.

Якщо умови спалювання відрізняються від оптимальних, то в печі можливо утворення побічних продуктів окиснення, інколи більш токсичних, ніж вихідні матеріали. У той же час результати випробувань напівпромислових і промислових установок показують, що при температурах процесу понад  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  і за присутності водяної пари вдається отримати надзвичайно низькі концентрації СІ навіть при спалюванні відходів, що містять значну його кількість.

Найбільш небезпечними побічними продуктами спалювання є не хлор або фосген, а так звані діоксини (поліхлоровані дібензо-п-діоксини й дібензо-п-фурані).

Встановлено, що утворення діоксинів досягає максимуму у вузькому температурному "вікні" –  $450\text{...}600\text{ }^\circ\text{C}$ . З іншого боку, під впливом температур вище  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  протягом 2 с або довше, ступінь деструкції діоксинів перевищує 99,5 %. Таким чином, достатньо високі температури та час перебування дозволяють практично повністю запобігти викиду діоксинів у навколишнє середовище. Для зниження температури спалювання хлорорганічних відходів і для підвищення економічності процесу запропоновано також *способи гетерогенно-каталітичного окиснення*. Проте каталітичне спалювання хлорорганічних сполук до цього часу ще не знайшло промислового застосування й знаходиться на стадії лабораторних експериментів.

Великий досвід по спалюванню пестицидів накопичено за кордоном [37, 61, 65]. У табл. 5.3 наведені результати досліджень, які проведені Агентством з охорони навколишнього середовища США на декількох заводах з виробництва цементу та вапняку з метою визначення екологічної безпеки попутного спалювання відходів, насамперед хлорорганічних.

Як слідує з наведених даних, ступінь деструкції небезпечних відходів, у тому числі поліхлорбіфенілів велика. Це дозволяє розраховувати на таку ж повну деструкцію НП.



Таблиця 5.3

Ефективність деструкції хлорорганічних сполук у промислових печах випалу

Підприємство	Речовина	Ступінь деструкції, %
1	2	3
St. Lawrence Cement Co., Mississauga (Ontario)	Хлоровані аліфатичні вуглеводні	>99,990
	Хлоровані ароматичні вуглеводні	>99,989
Peerless Cement Co.	Поліхлорбіфеніли	99,9981...99,9986
Stora Vika Co.	Метиленхлорид	>99,995
	Трихлоретилен	>99,9998
	Суміш хлорованих вуглеводнів	>99,988
	Поліхлорбіфеніли	>99,99998
	Хлорфеноли	>99,99999
	Феноксікислоти	>99,99998
	Фреон 113	>99,99986
San Juan Cement Co., Dorado, Puerto Rico	Метиленхлорид	93,2...99,997
	Хлороформ	92,171...99,96
	Чотирьоххлористий вуглець	91,043...99,996
Los Robles Co.	Метиленхлорид	>99,99
	1,1,1 –Трихлоретан	99,99
	1,3,5–Триметилбеюол	>99,95
	Ксилол	>99,99
Paulding Co.	Метиленхлорид	99,956...99,998
	Фреон 113	>99,999
	1,1,1–Трихлоретан	99,991...99,999
	Толуол	99,940...99,988
	Метилетилкетон	99,978...99,997
Oglesby Co.	Метиленхлорид	99,94...99,99
	Фреон 113	99,999
	Метилетилкетон	99/997...99,999
	1,1,1 –Трихлоретан	>99,999
	Толуол	99,986...99,998
Rockwell Lime Co., Rockwood, Wisconsin, USA	Метиленхлорид	99,9947...99,9995
	Метилетилкетон	99,997...99,9999
	1,1,1–Трихлоретан	99,9955...99,9982
	Трихлоретилен	99,997...99,9999
	Тетрахлоретилен	99,997...99,9999
	Толуол	99,995...99,998

Необхідно також відмітити, що за даними лабораторних експериментів, СаО та сполуки сульфуру гальмують поверхневі реакції, які відповідають за утворення діоксинів.

Цей факт дозволяє вважати, що використання цементних та вапняних печей є ще більш привабливим.

**Високотемпературне спалювання** – основний метод знищення СОЗ у Європі, США та Канаді. Це обумовлене універсальністю такої технології стосовно типів матеріалів, що переробляються, легкістю керування процесом, його пристосованістю до різних варіантів і умовам знешкодження, що полегшує створення мобільних установок, забезпечує утилізацію тепла процесу згоряння та практично повне руйнування СОЗ [21, 30, 37, 65].

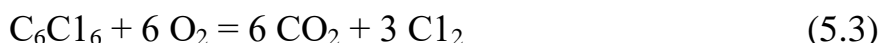
Наприклад, повне окиснення молекули будь-якого ПХБ описується рівнянням [101]:



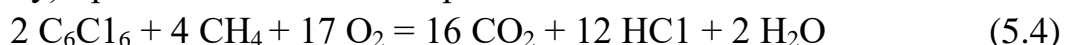
Це рівняння має фізичний сенс тільки при  $x > 5$ , при  $x = 5$  вода не утворюється. При  $x < 5$  процес спалювання призводить до утворення молекулярного хлору:



Саме такі умови повинні бути при спалюванні гексахлорбензолу, одного із СОЗ:



Утворення хлору небажане, оскільки він має сильну корозійну дію на матеріал апаратури, а для його видалення з газів, що відходять, потрібні дорогі лужні реагенти. Практично повністю ліквідувати утворення  $Cl_2$  можна введенням у камеру спалювання додаткового палива, що служить джерелом відсутніх у молекулі гексахлорбензолу атомів водню. При використанні метану (природного газу) процес можна описати рівнянням:



Найбільш ефективним пристроєм для спалювання СОЗ визнані двокамерні установки. Рідкі та пастоподібні відходи, що перебувають у бочках або баках, завантажуються в обертову піч, куди подають також тверді відходи. Системи подачі варіюються залежно від видів відходів. Для рідких СОЗ часто використовують спеціальні форсунки, встановлені в камері спалювання, де підтримується температура 1000...1200 °С. Спалювання звичайно триває 30...60 хв., залежно від швидкості обертання та нахилу печі. Органічні матеріали окиснюються в печі  $O_2$  з повітря, приплив якого регулюється так, щоб забезпечити необхідний надлишок  $O_2$ . Неорганічні компоненти відходів віддаляються в шлаконакопичувач, заповнений водою, який розташований у нижній частині печі. Після затвердіння шлаки осушуються та відправляються на полігон для депонування.

Гази, що відходять, за допомогою вентилятора, розташованого наприкінці печі, подаються в другу камеру допалювання з температурою понад 1200 °С. Час перебування газів у ній не менш 2 с. Після камери допалювання гарячі гази різко охолоджуються до температури близько 600 °С і надходять у котел-

утилізатор, де відбувається подальше їхнє охолодження з утилізацією тепла. Очищення газів, що відходять, здійснюється в кілька етапів: охолодження водою, пропущення через скрубери та електростатичний осаджувач летучої золи. Охолоджені й очищені гази викидаються в атмосферу через димар.

Вартість великих стаціонарних установок такого роду з продуктивністю 12...170 т/добу становить 10...200 млн. дол. США. Вони потребують складних допоміжних інфраструктур, включаючи безперебійну подачу електроенергії і води, безперервну подачу палива та відходів для забезпечення постійної та економічно ефективної експлуатації. Необхідні також інші види матеріально-технічного постачання, наприклад, устаткування для контролю викидів. Крім того, потрібні добре оснащені аналітичні лабораторії, засоби контролю над викидами й висококваліфікований персонал.

Існують також мобільні установки для спалювання відходів продуктивністю 2...20 т/добу. Мобільність їх умовна, тому що для транспортування потрібні кілька великовантажних автомобілів. Вартість таких установок 1,5...15 млн. дол. США. Для їхньої експлуатації потрібні інфраструктура та обслуговування, як для стаціонарних установок. Вартість будівництва найменших стаціонарних установок для високотемпературного спалювання стійких з'єднань (ПХБ) продуктивністю 1...2 т/добу становить близько 1 млн. дол. США. Таку ціну слід вважати мінімальною, приймаючи до уваги необхідність забезпечення високих робочих температур для запобігання викидів діоксинів (значно більш високих, ніж в установках для спалювання побутових відходів) і необхідність дуже ефективних систем очищення газів, що відходять.

Останнім часом ефективність високотемпературного спалювання СОЗ зазнає сумніву [30], оскільки діоксини – побічні продукти спалювання, є більш токсичними речовинами, ніж вихідні хлорорганічні з'єднання. Відповідно до Директиви ЄС про спалювання небезпечних відходів, зміст діоксинів у димових газах не повинний перевищувати 100 пг/м<sup>3</sup>. Велика сучасна установка по спалюванню небезпечних відходів викидає димових газів близько 25 м<sup>3</sup>/с. Якщо зміст діоксинів відповідає нормі (високочутливі методи контролю показують звичайне перевищення цієї норми), така установка викидає їх в атмосферу більш 200 мкг/добу. Оскільки припустима добова доза діоксинів становить 1...4 пг/(кг·сут) [53], розрахунки показують, що установкою викидається кількість діоксинів, еквівалентна припустимій добовій дозі для 1...3 млн. дорослих людей.

Вітчизняний досвід промислового спалювання пестицидів незначний. Передусім треба згадати успішний експеримент по спалюванню твердого хлорофосу в камерній печі об'ємом 2 м<sup>3</sup> при температурах 1100...1450 °С. За результатами вимірів було встановлено, що цей пестицид повністю згорає з утворенням Н<sub>2</sub>О, СО<sub>2</sub> та НСl – останній поглинали водним розчином гашеного вапна. При цьому кількість хлористого водню, яку визначали на виході в атмосферу та у повітрі робочої зони печі, була набагато нижче ГДК.

Визначено, що спалювання – перспективний спосіб знищення непридатних пестицидів, але не застосовується широко внаслідок недосконалої

конструкції печей (у ході роботи виявилися деякі проблеми з завантаженням хлорофосу в піч і недостатнім ущільненням у місцях з'єднання основних вузлів термоутилізатора-очишувача забруднених газів).

Особливий інтерес викликає так зване попутне спалювання небезпечних відходів, у тому числі пестицидів, на існуючих промислових установках, спочатку споруджених з іншою метою. Деякі типи установок наведені в табл. 5.4. Чисельні проби й експерименти показали, що попутне спалювання токсичних відходів як з економічної, так і з екологічної точок зору спроможне складати альтернативу спалюванню їх у спеціально призначених для цієї мети установках.

Найбільш перспективними установками для знищення пестицидів з перелічених у табл. 5.4 слід вважати печі для випалу цементу та вапна. У гарячій зоні таких печей підтримується температура, що перевищує 1400 °С, а час перебування газів у цій зоні досягає 3...5 с. Це забезпечує 99,9 % розклад будь-яких органічних сполук, включаючи найбільш стійкі поліхлорбіфеніли. Реакція кислих газів (хлористого водню, сульфору та фосфору оксидів) з лужним клінкером або вапняком видаляє їх з ефективністю не менш 99 %, що практично виключає необхідність очищати гази, що відходять від таких складових.

Таблиця 5.4

*Характеристики деяких промислових теплоагрегатів*

Галузь промисловості	Тип теплоагрегату	Діапазон робочих температур, °С	Час перебування газів у гарячій зоні, с
Промислові котлоагрегати	Вогнетрубний котел (на газі чи мазуті)	1000...1400	0,1...0,5
	Водотрубний котел (на газі чи мазуті)	900...1300	0,2...0,3
	Котел на вугільному пилу	1000...1300	0,9...4,0
	Механічна топка	900...1100	0,7...3,0
Виробництво цементу	Обертובה піч	1400...2000	6,0...10,0
Виробництво вапна	Обертובה піч	700...1800	6,0...10,0
Виплавка чавуну та сталі	Доменна піч вагранка Відбивна піч	100...1900	1,8
		1200...1800	2,0
		1200...1300	2,3
Виплавка чорного свинцю	Шахтна піч	700...1200	5,6
Виробництво цегли та кераміки	Тунельна піч	900...1400	1,0

Досвід знищення пестицидів в Україні шляхом попутного спалювання обмежується, наскільки відомо, тільки Кам'янець-Подільським цементним

заводом. У ході дослідно-промислового експерименту було спалено близько 10 т непридатних пестицидів у вигляді мінерально-масляних емульсій та сумішей на основі ДДТ, гексахлорциклогексану та поліхлорпропіленів.

Аналітичний контроль проб газу, що відходить, і клінкеру на присутність у них залишків пестицидів, проведений Інститутом екогігієни та токсикології ім. Л.І. Ведмедя, м. Київ, показав повну відсутність цих речовин як у газі, так і в клінкері.

Зміст HCl в газі, що відходить, знаходився в межах 3,3...10 мг/м<sup>3</sup>. Згідно з екологічними стандартами ЄС, середньодобовий зміст хлористого водню не повинний перевищувати 10 мг/м<sup>3</sup>. Можна зробити висновок, що спалювання пестицидів цілком відповідало вимогам екологічної безпеки. Одержаний у печі клінкерний матеріал у технічному відношенні повністю відповідав ДСТУ, і його хіміко-мінеральний склад, структура та гідравлічна активність не зазнали помітних змін.

На підставі одержаних результатів того часу була розроблена й затверджена "Тимчасова інструкція з дослідно-промислового смолоскипового спалювання в обертових печах заборонених і непридатних до застосування пестицидів на Кам'янець-Подільському цементному заводі". Внаслідок відсутності подальшого фінансування дослідно-промислові роботи в цьому напрямку в 1984 р. були припинені.

Таким чином, аналіз світового та вітчизняного досвіду дає підстави вважати, що найбільш перспективним засобом знищення непридатних пестицидів, як і багатьох інших небезпечних відходів є їх попутне спалювання в обертових печах цементних виробництв. Підставою для такого ствердження є не тільки економічна доцільність, але й те, що на сьогодні цементна піч є найбільш екологічно чистим агрегатом для утилізації пестицидів. Це впливає з таких характеристик процесу:

- висока температура клінкеру (до 1450 °С) і газового середовища (до 2000 °С);

- значний час перебування спалюваних пестицидів у "гарячій зоні" – більш 7 с при  $t > 1200$  °С;

- лужний характер клінкеру в печі при наявності кислотних властивостей газів, які утворюються при спалюванні;

- протиточний рух клінкеру та газів;

- інтенсивний контакт між твердими та газоподібними фазами;

- нейтралізація за рахунок рідкої фази клінкеру навіть токсичних металів;

- практична безвідходність самої цементної технології;

- як правило, наявність в пічних установках ефективних електрофільтрів.

Вищеперераховане дозволяє цементним заводам стати переробниками відходів, при цьому **ефективність існуючих технологій спроможна забезпечити високий рівень екологічної безпеки й кардинально вирішити проблему накопичених в Україні непридатних пестицидів.**

Потенційно прийнятними є **біологічні методи**, засновані на руйнуванні пестицидів під впливом мікроорганізмів, що присутні у ґрунті [21, 30–31, 70, 93–97, 108–112, 113, 114].

У природі деструкція здійснюється складними біоценозами. У лабораторних умовах або спеціальних спорудженнях велика кількість природних та синтетичних з'єднань ефективно руйнуються монокультурами мікроорганізмів. Будь-які природні органічні речовини руйнуються мікроорганізмами порівняно легко. Інакше виглядає справа із синтетичними з'єднаннями, які є ксенобіотиками, що з'явилися в навколишньому середовищі порівняно недавно. Багато які з них руйнуються в природі повільно і відрізняються високою стійкістю до дії мікроорганізмів, чому і прилічені до СОЗ.

Хлорорганічні пестициди високотоксичні відносно до вищих тварин, рослин, різних водоростей, деяких грибів, бактерій і дріжджів. Основну роль по детоксикації їх у природі виконують мікроорганізми. Однак, поки не вдається виділити мікроорганізми, здатні використовувати ДДТ та інші СОЗ у якості єдиного джерела  $\text{CO}_2$  та енергії. Це обумовлено здатністю багатьох бактерій трансформувати органічні сполуки, але не використовувати їх при цьому.

Таке явище було названо *ко-метаболізмом* за аналогією з відомим у мікробіології процесом *соокиснення*.

У лабораторних умовах деструкція деяких пестицидів відбувається тільки при активному рості культур в багатому живильному середовищі і повністю зупиняється при спробі використовувати пестицид як єдине джерело вуглецю. Однак існують хлорорганічні пестициди, цілком здатні служити єдиним джерелом вуглецю й енергії в конструктивному та енергетичному обміні мікроорганізмів, наприклад, хлорпохідні феніламідів: пропанид, дікрил, карсіл та ін. Механізми мікробної деструкції багатьох пестицидів тією чи іншою мірою з'ясовані [21, 30–31, 70, 93–97, 108–112, 113, 114].

Наприклад, детоксикація ДДТ (4,4'-діхлордіфенілтрихлорметилметану) здійснюється за допомогою наступних основних реакцій:

- 1) відбудовне дехлорування до діхлордіфенілдіхлоретану;
- 2) дегідрохлорування до діхлордіфенілдіхлоретилену;
- 3) окиснення до діхлордіфенілтрихлорметилкарбінола,
- 4) окиснення до діхлордіфенілоцтової кислоти;
- 5) окиснення до діхлорбензофенола.

Повна деструкція ДДТ, очевидно, іде через розрив бензольних кілець проміжних продуктів. Ідентифіковані деякі продукти метаболізму, що утворюються в результаті мікробіологічних перетворень: альдрин, діельдрин, ендрина та ін. Однак про знешкодження того або іншого хлорорганічного з'єднання не можна судити тільки по його зникненню із середовища. Лише відщиплення галоїду у вигляді неорганічного іона можна вважати повним розв'язком проблеми.

Такі хлорпохідні пестициди, як далапон, 2,4-Д, 2,4,5-Т, діурон та ін., піддаються біологічному розкладанню набагато легше, чим хлоровані вуглеводні типу ДДТ. Так, далапон, 2,4-Д і 2,4,5-Т розкладаються у родючих ґрунтах з достатнім вмістом вологи протягом 2...8 тижнів; діурон – більш стійкий, і для його повного розкладання потрібно кілька місяців.

Період напіврозпаду (у чисельнику — середній, у знаменнику — максимальний) пестицидів у звичайних ґрунтах, діб: фосфорорганічні пестициди – 47/290; триазіни – 82/212; карбамати – 172/817; заміщені похідні кабаміду — 355/3103; хлоровані вуглеводні – 2256/7987.

У природних умовах біологічна деструкція пестицидів, особливо ДДТ, відбувається повільно. Деякі пестициди у вигляді розведених розчинів, емульсій, суспензій можуть бути внесені на поверхню ґрунту і залишені там, або захоронені в ґрунт.

Такі ділянки вимагають догляду, щоб забезпечити максимальну біологічну активність мікроорганізмів і запобігти вимиванню пестицидів та їх влучення в ґрунтові та поверхневі води. Додатково необхідно запобігти випадковому доступу людей і тварин до таких ділянок, щоб не допустити їхнього контакту з отрутохімікатами.

### 5.2.1 Альтернативні технології видалення та знищення СОЗ

**Плазмові реактори**[32, 37–40]. У цих реакторах електрична дуга, через яку пропускають потік газу (звичайно Ar або N<sub>2</sub>), породжує плазму – частково іонізований газ. Хоча в багатьох відносинах плазма поводить себе як звичайний газ, важко визначити середню температуру турбулентної маси іонів і електронів, складових плазми, і тому вказують кінетичну температуру, що часто перевищує 30000 °С. При таких температурах будь-які хімічні сполуки перетворюються на окремі атоми та іони. Процес руйнування молекул подібний до термічної деструкції, але відбувається набагато швидше та ефективніше за рахунок високої енергії плазми. На виході із плазмового реактора суміш газів швидко проохолоджують, і при цьому атоми, іони та електрони знову формують нейтральні молекули.

Загальний ККД процесу визначається ступенем перетворення електричної енергії плазми в теплову.

У великих плазмових генераторах ККД доходить до 85...90 %, що дозволяє швидко руйнувати матеріали, для повного піролізу яких потрібно чимало часу (ПХБ). При цьому нелегко підібрати умови, при яких на виході з реактора не буде небезпечних хлорорганічних з'єднань.

Компанія "Pyrolysis Systems Inc." (Уеланд, Онтаріо, Канада) експлуатує дослідну мобільну плазмову установку, споруджену на замовлення Департаменту охорони навколишнього середовища штату Нью-Йорк, США. Її продуктивність близько 4 л/хв., а ступінь деструкції (СД) ПХБ досягає 99,9999999 %. Атомізація рідин відбувається за час не більш 0,3 мс. Витрата електричної енергії на розкладання 1 кг ПХБ становить 1,2 кВт годину, що менше, чим при звичайному високотемпературному спалюванні [50]. Вартість установки близько 300 тис. дол. США.

Машинобудівний завод "SKF" (Хофорс, Швеція) побудував плазмовий генератор потужністю 6 МВт для переробки 70 тис. т/рік пилоподібних відходів від сталепрокатного стану [37]. Звідси ясно, що плазмові технології можуть

бути реалізовані в промисловому масштабі, однак розміри генераторів і відповідного встаткування сильно обмежують їхню мобільність.

Найбільший досвід експлуатації плазмового реактора накопичений в Австралії [21, 30]. З 1992 р. у м. Лавертон (штат Вікторія) на заводі де виробляються гербіциди працює установка "Plascon" потужністю 150 кВт. Вона призначена для знищення різноманітних хлорорганічних відходів із середнім змістом хлору 30 % мас. Друга установка "Plascon" потужністю 200 кВт використовується для знищення запасів ПХБ, хлорфтор-, бром-фтор- і бромхлорвуглеводнів. Швидкість охолодження плазми на виході з реактора дуже велика, причому "гасіння" плазми відбувається при введенні в газовий потік водяної пари або  $O_2$ . Типовими продуктами на виході з реактора є  $CO$ ,  $CO_2$  та  $HC1$ . Утворення  $CO$  зводять до мінімуму завдяки управлінню умовами гасіння, а два інших гази видаляють лужним очищенням.

На установці "Plascon" можна переробляти рідкі та газоподібні відходи. Її продуктивність сильно падає, якщо використовуються розведені розчини небезпечних з'єднань (наприклад, ПХБ у маслі), оскільки основна частка енергії в цих випадках витрачається на руйнування розчинника. Кожний конкретний вид відходів потребує точного управління експлуатаційними параметрами. Експлуатаційні витрати становлять звичайно 1500...2000 (іноді 3000) австралійських доларів/т відходів, перевищуючи вартість звичайного високотемпературного спалювання.

**Мікрохвильові плазмові реактори.** Плазму можна генерувати не тільки за допомогою електричної дуги. Мікрохвильове випромінювання здатне генерувати електронну плазму, що діє на молекули, як і високотемпературна електродугова плазма. Експерименти в Технологічному інституті Нью-Джерсі, США показали, що хлорвмісні розчинники (наприклад, хлороформ) можуть бути зруйновані в мікрохвильовій плазмі при низьких тисках і помірних температурах (близько  $230\text{ }^{\circ}C$ ) в атмосфері, збагаченої  $H_2$  або парами  $H_2O$  [21, 30]. Продуктами розкладання є хлористий водень, легкі вуглеводні (наприклад, метан), сажа, хлорорганічні з'єднання. Цей процес у майбутньому можна буде проводити у промислових установках.

**Інфрачервоні електронечі.** Компанія "Shirco Infrared Systems Inc." побудувала установку для спалювання, у якій відходи нагріваються ІЧ-випромінюванням [37]. У первинній камері спалювання, обладнаній стрижнями із провідного карбїду кремнію, що нагріваються при пропусненні електричного струму, досягається температура близько  $1000\text{ }^{\circ}C$ . Час перебування відходів у гарячій зоні може регулюватися в межах 10...90 хв. Час перебування газів у камері їх допалювання становить 2 с при  $1260\text{ }^{\circ}C$ . Гази, що відходять, проходять через скруббер Вентурі. Мобільна демонстраційна установка продуктивністю 10...45 кг/годину була успішно використана для знешкодження ґрунтів, забруднених ПХБ і діоксинами, а також шлаків, що містять креозот і пентахлорфенол. Вона змонтована на трейлері довжиною 15 м і потребує підключення електроенергії, води й газу. Для повномасштабного варіанта установки буде потрібно 6 трейлерів.



**Системи із сонячним обігрівом.** Для розкладання токсичних відходів можна використовувати сонячну енергію. US Solar Energy Research Institute (Колорадо, США) випробував установку, у якій сонячне світло за допомогою системи дзеркал концентрується в камері, де розміщені відходи [37]. Ступінь деструкції діоксинів у цій установці досягає 99,9999 %. Комерційне використання подібних установок для обробки забруднених ґрунтів є справою віддаленого майбутнього.

**Окиснення в ущільненому шарі.** Цей процес, розроблений спочатку для очищення повітря від токсичних газів, може бути використаний для переробки рідких небезпечних відходів і навіть шламів. У розробленому компанією "In-process Technology of California", США, реакторі [37] газоподібні відходи під тиском пропускаються крізь стаціонарний ущільнений шар, що складається з попередньо нагрітих керамічних елементів. Температура шару перевищує 1000 °С. Поверхнева площа шару велика, що прискорює реакцію окиснення матеріалу киснем повітря. Висока температура потоку забезпечує гарне перемішування та теплообмін, що дозволяє досягти практично повного спалвання, СД становить 99,99 %. Якщо побічними продуктами спалювання є шкідливі гази (наприклад, HCl), то на виході з реактора встановлюється скруббер.

**Окиснення в киплячому шарі.** Реактори з киплячим шаром давно використовуються в промисловості для теплової обробки зернистих матеріалів. Киплячий шар складається з інертного гранульованого матеріалу (піску, кераміки), який підтримується в псевдоорідненому стані за рахунок продування крізь нього газів. Температура шару обмежується температурою плавлення інертного матеріалу, який утворює шар (для піску близько 1100 °С). Поведінка шару підкоряється законам гідродинаміки, що описують киплячу рідину з високою турбулентністю. Перенесення тепла у псевдоорідненому шарі відрізняється надзвичайно високою ефективністю, тому такі печі перспективні для спалювання відходів.

Компанія "Ogden Environmental Services", США, побудувала реактор, у якому киплячий шар створюється потоком повітря. Температура в турбулентній зоні, де спалюються відходи, коливається в межах 800...1100 °С. Тверді матеріали перебувають у гарячій зоні близько 30 хв., після чого вони разом з матеріалом киплячого шару надходять у циклонний уловлювач, а потім рециркулюють назад у піч. Гази перебувають у гарячій зоні 2 с і через конвекційний охолоджувач надходять на фільтр. Ця установка сертифікована для спалювання ПХБ [37].

Компанія "Waste-Tech Services" (США) використовує реактор з киплячим шаром для спалювання твердих і рідких відходів. Киплячий шар складається зі здрібненої алюмосилікатної цегли. Для підтримки псевдоорідненого стану продувають повітря. Установка постачена вторинною камерою допалювання, у якій гази та зважені частки перебувають 2 с при 1100 °С для необхідного ступеня деструкції. Для нейтралізації кислих газів, що відходять застосовується скруббер [37].

**Окиснення в сольових розплавах.** Розплави солей (карбонати натрію або кальцію) здатні окиснювати рідкі, тверді та газоподібні відходи. Реактори, у яких температура розплаву близька до 900 °С, можна використовувати для знищення високотоксичних розчинів. Органічні матеріали, які вводяться в розплав, у присутності повітря розкладаються до CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O, а розплав карбонату поглинає побічні неорганічні продукти спалювання та нейтралізує кислі продукти. Через поступове нагромадження в розплаві сторонніх неорганічних домішок сіль потребує періодичного очищення.

На початку 80-х рр. компанія "Rockwell Energy Systems Group" розробила експериментальний сольовий реактор для переробки рідких і твердих відходів ПХБ [37]. Відходи надходять у нижню частину ванни з розплавом карбонату натрію, і розкладаються у міру спливання, а карбонат натрію перетворюється в хлорид. У розплаві глибиною близько 15 см ступінь деструкції ПХБ становила від 99,99917 % при 745 °С до 99,99971 % при 912 °С і 65-кратному надлишку повітря. При збільшенні глибини розплаву підвищуються час перебування і, відповідно, ступінь деструкції. В установках з більшою глибиною розплаву можуть бути досягнуті більші ступені деструкції.

Вартість установки продуктивністю близько 100 кг/годину становить 1,75 млн. дол. США. Експлуатаційні витрати не повинні бути занадто великі, тому що екзотермічність реакцій окиснення дозволяє заощаджувати тепло, а єдиним реагентом, що витрачається, є дешева сода. Проте цей процес у багато разів дорожче порівнянних технологій, що володіють не меншим ступенем руйнування, і не може використовуватися при значному вмісті інертних наповнювачів у матеріалах, наприклад, у твердих формах пестицидів.

**Піроліз.** На відміну від спалювання, при якому відходи окиснюються киснем повітря, при піролізі відходи нагріваються без доступу повітря й розкладаються в основному на прості речовини: H<sub>2</sub>, легкі вуглеводні, СО. Ці продукти розкладання можуть бути використані в якості палива. Деяка кількість вуглецю, що втримується у вихідних матеріалах, звичайно випадає у вигляді сажі, а хлор з воднем утворює хлористий водень. Піроліз був використаний для обробки забруднених ґрунтів у демонстраційних проектах. Цей метод може застосовуватися для переробки багатьох інших небезпечних відходів, однак енергоємність процесу робить його досить дорогим.

При піролізі ПХБ продуктами розкладання є твердий карбоновий залишок і газ, в основному хлор і хлористий водень, а також деяка кількість хлорорганічних з'єднань [101]. Газ вловлюється в послідовно з'єднаних абсорберах, зрошуваних водою та лужним розчином, а також в адсорбері з активованим вугіллям, причому для більш ефективної деструкції ПХБ і зниження температури процесу рекомендується додавати невелику кількість O<sub>2</sub>. Однак, у таких умовах неминуче утворення значних кількостей діоксинів – більш токсичних речовин, чому вихідні ПХБ. Крім того, виникає серйозна проблема знешкодження активованого вугілля з адсорбера. Тому піролітичний метод знешкодження ПХБ у цей час не може бути використаний у промисловому масштабі.

**Каталітичне окиснення**[101]. Каталітичне окиснення органічних матеріалів дозволяє вести процес при більш низьких температурах, ніж необхідні для звичайного спалювання. Наприклад, спалювання бензолу в повітрі відбувається при 580 °С, а в присутності каталізатора знижується до 300 °С. Це зберігає до 67 % палива, необхідного для спалювання газових сумішей з низькою концентрацією бензолу. Застосування каталізаторів дає 60 % економію палива при спалюванні СО та 70 % – при спалюванні толуолу. Якщо концентрації горючих речовин у газі досить великі, то їх спалювання не вимагає ні палива, ні каталізатора.

Найбільш ефективні каталізатори – на основі благородних металів (платини, родію, палладію та ін.), тому вартість їх велика. Каталізаторами також можуть служити більш дешеві оксиди перехідних металів: міді, кадмію, кобальту, марганцю та ін. Практично всі відомі каталізатори піддаються так званому отруєнню. Наприклад, невеликі кількості сполук сульфуру викликають дуже швидке зниження активності каталізаторів, а це вимагає або частої їхньої заміни свіжим каталізатором, або очищення матеріалу, що переробляється, від даної каталітичної отрути.

Дослідження в даному напрямку обмежуються в основному чистими модельними речовинами.

**Газова гідрогенізація.** Хімічна сутність цього методу зводиться до відновлення органічних сполук за допомогою  $H_2$ , у тому числі галогенвмісних. Процес розроблений і запатентований компанією "Eco Logic International". Кілька років він використовувався в Канаді, а тепер єдина промислова установка експлуатується в Австралії [21, 30]. При  $t \geq 850$  °С органічні відходи, у тому числі поліциклічні ароматичні вуглеводні, відновлюються до метану, незначних кількостей алканів,  $HCl$  та води. Навіть у таких стійких забруднювачів, як  $CO_2$ , хлорфеноли, хлорбензоли, діоксини та пестициди, СД досягає практично 100 %. Реакція проходить у відновній атмосфері, позбавленої  $O_2$ , і тому умови утворення вторинних діоксинів відсутні.

Серйозну проблему при експлуатації установки викликає утворення смол, що не мають достатню летючість, щоб взяти участь у реакції.

Міністерство енергетики Австралії заявило, що цей процес придатний для переробки більшості відходів, у тому числі інфільтратів зі смітників, донних відкладань, ґрунтів, мулів стічних вод, рідин, газів навіть утримуючих ПХБ. В останньому випадку їх поміщають у зовнішню піч, що продувається  $H_2$  (процес термічної десорбції). Вартість переробки 1 т ґрунту – 250...500, твердих хлорорганічних пестицидів – 4000...6000, ПХБ і рідких хлорорганічних пестицидів – 4000...8000, конденсаторів – 6000...11000 австрал. дол. Технологія розглядається як найбільш перспективна.

**Піроліз у розплаві металів.** Компанія "Molten Metal Technology" (США) розробила процес, у якому розплавлений метал діє і як розчинник, і як каталізатор [21, 30, 37]. Відходи та додаткові реагенти подаються в реактор, облицьований вогнетривкою цеглою та заповнений металом. У результаті утворюються продукти процесу: метал, який може бути підданий вторинній переробці; шлаки зі змістом оксидів металів; газоподібні продукти окиснення

та розкладання; пил, що містить металеві частки. Свій процес компанія описує як технологію утилізації, що дозволяє переробляти органічні, металоорганічні та неорганічні сполуки в корисні продукти. В одному з варіантів оброблені відходи містили в собі хлортолуол, ПВХ, відходи металів, важкі залишкові фракції від виробництва діхлоретану та вінілхлориду. При цьому СД перевищувала 99,9999 %. Гази, що відходять, в основному склалися з  $H_2$ ,  $CO$ , до 1 % етілену, легких вуглеводнів. Шлаки, що збирають з поверхні розплаву, містять  $SiO_x$  та  $Al_2O_3$ ,  $CaCl_2$ . Металеві побічні продукти залишалися в розплаві у вигляді феросплавів.

Національна науково-дослідна рада США вважає, що гази, які відходять, слід допалювати в окремій камері, оскільки вони містять помітну кількість сажі, після чого їх додатково очищають. Вартість будівництва типового підприємства залежно від кількості та складу відходів – 15...50 млн. дол. США. У цей час експлуатується одна така установка в Клін-Харборі (США), здатна переробляти 30 тис. т відходів на рік. Її побудова обійшлася в 25...35 млн. дол. США.

**Окисна деструкція в содорегенераційних топкових агрегатах.** Цей метод є варіантом використання сольових розплавів, але здійснюється в промислових реакторах – **содорегенераційних** котлах, які застосовуються в целюлозно-паперовій промисловості [38–40]. Котел являє собою сталеву вежу висотою 20...30 м, всередині якої перебуває лужний розчин при 1100 °С, а внизу вежі шар розплавленого  $Na_2CO_3$ , через який можна подавати повітря або  $O_2$ . Висота вежі забезпечує перебування в ній газів протягом 20...30 с, що в комбінації з високою температурою та високою реакційною здатністю лужного розплаву приводить до повної деструкції хлорорганічних відходів і перешкоджає утворенню діоксинів. При вимірах викидів діоксинів у димарях після фільтрів на комбінатах у м. Новодвінську та м. Соломбалі (поблизу м. Архангельськ) виявлено 1...5 пкг/м<sup>3</sup> токсичних еквівалентів, що суттєво нижче припустимих 100 пкг/м<sup>3</sup> за стандартами ЄС [20].

Російські вчені вважають, що використання **содорегенераційних** котлів дозволить ефективно знищувати рідкі небезпечні відходи, осади стічних вод, ПХБ, а при деякій модифікації – сипучі речовини та ТПВ. Метод не пред'являє ніяких вимог до чистоти та однорідності знищуваних відходів, що ріднить його з методом попутного спалювання у цементних печах. Будівництво **содорегенераційних** котлів можливо в будь-якому місці, оскільки вони не дають небезпечних викидів у повітря та не забруднюють води. Пил з фільтрів і залишки після очисних споруджень направляються назад у котел, так що єдиним відходом є гранульований шлак, який містить нерозкладені неорганічні домішки до вихідних матеріалів. Після знищення накопичених небезпечних відходів ці агрегати можуть забезпечувати видалення міських мулів і інших забруднювачів. Дані про капітальні й експлуатаційні витрати відсутні.

**Високопараметричне спалювання**[38–40]. На відміну від звичайних печей для спалювання або реакційних камер плазмових реакторів, у яких процеси спалювання відбуваються у відносно стаціонарних умовах у реакційному просторі великого обсягу, в установці високопараметричного

спалювання реакції відбуваються в потоці, що рухається з дуже високою швидкістю. Установа складається з камери спалювання, реакційної камери та абсорбера, причому в якості комплектуючих елементів використовуються готові вузли та агрегати ракетних двигунів з ракетного озброєння, що скорочуються в Росії. Це забезпечує енергонасиченість, малі габарити й високий ступінь автоматизації. Промислова установка високопараметричного спалювання продуктивністю до 1 т/годину із габаритами 4,5×1,5×1,8 м діє з 1998 р. на ВАТ "Северсталь" (м. Череповець Вологодської обл.). Вона може переробляти рідкі й порошкоподібні токсичні відходи: ПХБ, пестициди (ГХЦГ, ДАТ, хлорофос, карбофос та ін.). Запуск і зупинка установки здійснюється за 5 і 3 с відповідно. Обслуговуючий персонал – 3 людини. Ступінь деструкції ПХБ і діоксинів становить 99,9999 і 99,99 %, а концентрації HCl, HF і SO<sub>2</sub> у газах, що відходять, суттєво нижче припустимих норм.

Технологічні подробиці та економічні показники цього методу не опубліковані, однак повідомляється, що для переробки 1 т ПХБ або ГХЦГ установка споживає 500...1000 кг технічного O<sub>2</sub>, 30...40 кг дизельного палива, 400...600 кг каустичної соди, 10...20 кг карбаміду та 3...4 т холодної води.

**Комбінований метод.** Перспективний метод знешкодження ПХБ, хлор-, фосфор- і сульфурорганічних пестицидів розроблений ТОВ "Елга" (м. Шостка, Україна) [38–40]. Процес складається із двох стадій: лужного гідролізу та низькотемпературного піролізу. На першій стадії від вихідних молекул ПХБ відокремлюється хлор, який зв'язується агентами гідролізу. На другій стадії відбувається утворення карбонового залишку внаслідок хімічних реакцій між органічними продуктами гідролізу.

Матеріали, що переробляються, змішують із сумішшю CaO та 30 % розчином NaOH) і завантажують у реактор з нержавіючої сталі. Одноразове завантаження експериментального реактора – 60 кг. Після герметизації реактора протягом 1...2 годин температура збільшується до 200...250 °С, а надлишковий тиск становить 40...60 кПа. Гази, що утворюються, подають на очищення або допалювання. Далі температуру в реакторі підвищують до 5000 °С та проводять піроліз до закінчення виділення газів. Ці гази очищають від HCl, SO<sub>x</sub>, вуглеводнів і подають у камеру високотемпературного (1300...1500 °С) каталітичного допалювання, виконану відповідно до вимог ЄС. Це гарантує відсутність діоксинів і бенз-піренів у газах, що відходять.

Відходи цього процесу – неоднорідний сірий попіл з грудками карбону. Дослідження Інституту екогієни та токсикології (Київ) показало, що вони не містять органічних сполук і відносяться до промислових відходів IV класу небезпеки. Отже, цей метод можна вважати екологічно безпечним. Відходи піролізу можна додавати в бетонні суміші для дорожніх покриттів або депонувати на полігонах промислових відходів. Вартість переробки 1 т відходів ПХБ – 2500 грн. Продуктивність установки по відходах досягає 150...200 т/рік.

## **ВИСНОВОК**

При розробленні комплексної системи регулювання СОЗ необхідно враховувати специфіку цієї проблеми в Україні, обумовлену розвиненим сільськогосподарським виробництвом, високою питомою вагою енергетичного та металургійного секторів економіки[21, 30–31, 70, 93–97, 108–112, 113, 114]. Пріоритетною є проблема накопичених непридатних і заборонених пестицидів, в основному хлорорганічних, значну частку яких становлять невідомі препарати і їх суміші. Цей факт ускладнює вибір технологічних методів для їхнього знищення. Загальна кількість таких пестицидів досягає 22000 т. Проблема ПХБ є другою проблемою за ступенем важливості.

Розвинена структура енергомереж, величезна кількість енергоустановок дають підстави припускати обіг більших кількостей ПХБ в Україні, однак оцінити їх можна буде лише після проведення комплексної інвентаризації. Нарешті, масштаби викидів діоксинів в Україні невідомі, оскільки необхідна приладна, аналітична та метрологічна база практично відсутня, а її створення вимагає серйозних витрат[21, 30–31, 70, 93–97, 108–112, 113, 114].

Огляд технологій знищення СОЗ показує[21, 30–31, 70, 93–97, 108–112, 113, 114], що лише дві з них перебувають у комерційній експлуатації в промислово розвинених країнах: високотемпературне спалювання та газофазна гідрогенізація, причому в останні роки виникають серйозні сумніви в екологічній безпеці першого з них. В Україні, як і у Росії й інших країнах СНД, не існує ні однієї сучасної установки високотемпературного спалювання, що відповідає мінімальним вимогам екологічної безпеки. Спорудження таких стаціонарних установок вимагає величезних капітальних витрат і неминуче зустрічає опір місцевого населення. Це також відноситься до установок газофазної гідрогенізації. Із цих причин будівництво установок обох типів в Україні не ведеться й, наскільки відомо, не планується.

Відходи СОЗ не підлягають депонуванню на існуючих полігонах, оскільки такі об'єкти одразу ж стають є джерелами підвищеної екологічної небезпеки.

Багато країн ЄС мають надлишкові потужності по переробці небезпечних відходів, включаючи СОЗ. Європейські підприємства відповідно до Базельської конвенції про транскордонні перевезення відходів і в повній відповідності зі Стокгольмською конвенцією готові імпортувати відходи для їхньої переробки. Однак, такі операції для України неприйнятні з економічної точки зору.

Прийнятним варіантом видалення відходів СОЗ є їхнє зберігання на спеціально обладнаних складах у контрольованих умовах. Тривале зберігання пестицидів і ПХБ рекомендоване Програмою по навколишньому середовищу ООН для тих країн, у яких відсутні сучасні установки по переробці небезпечних відходів [49]. Таке зберігання слід розглядати як проміжний захід на шляху до кінцевої мети — екологічно безпечної ліквідації СОЗ.

### 5.3 ВЕРМІКОПОСТУВАННЯ

Як приклад технології утилізації ТПВ, ОСВ, відходів птахоферм, СО<sub>2</sub>, непридатних пестицидів та ін. відходів може бути застосована технологія їхнього вермікомпостування, тобто переробки за допомогою дощових хробаків. Розглянемо цей процес більш детально[55–58, 88–89].

В останні роки світова наука та практика все частіше звертається до використання біологічних технологій підвищення родючості ґрунту й одержання екологічно чистої продукції сільськогосподарських культур. Виникнення інтересу до вермікультур фахівці пов'язують із загостренням екологічних проблем, зокрема, зі зростаючим забрудненням навколишнього середовища відходами, важкими металами, радіонуклідами й засобами хімізації. Привабливість методу вермікультури полягає саме в її біологічній основі, що виключає небезпеку забруднення середовища небажаними речовинами.

*Метод вермікомпостування* дає можливість швидко переробляти на добриво (біогумус) побутові та деякі види промислових відходів. Особливу увагу до вермікультури проявляють прихильники альтернативного землеробства, що підтримують відмову від застосування мінеральних добрив і пестицидів і закликають до широкого використання компостів, здатних підтримувати на високому рівні біологічну активність ґрунтів[39–40].

Перші господарства по штучному розведенню хробаків на відходах були створені наприкінці 1940 р. У США хробаків розводили для одержання наживки для рибного лову. Пізніше, багато які з цих господарств перейшли на комерційне виробництво вермікомпосту та дощових хробаків[37].

У цей час у США розведенням хробаків займаються як окремі фермери, зацікавлені в ліквідації рослинних залишків і тваринницьких відходів, що утворюються в процесі сільськогосподарського виробництва, так і окремі ферми, що спеціалізуються на утилізації промислових відходів за запатентованою технологією.

У США налічується близько 1500 великих господарств по переробці відходів методом вермікультури та безліч дрібних господарств. На основі цих господарств створені фірми, що спеціалізуються на утилізації методом вермікультури тваринницьких, побутових і промислових відходів.

Слідом за США почали розводити хробаків в Філіппінах, де вермікультування охопило велику кількість дрібних сільськогосподарських виробників. Хробаків вирощують у примітивних умовах на відходах різного роду. Їх протеїн використовують як добавку в їжу (у м'ясний фарш, гастрономічні вироби, хліб) і на корм худобі. Навколо цього виробництва виникли невеликі фірми й об'єднання.

У Японії розроблений спосіб розведення дощових хробаків у заглибленому басейні, де протягом доби переробляється 40 т різних відходів. Є відомості, що у Швейцарії, США, Японії створюються великі установки

промислового типу, на яких передбачається переробляти за допомогою хробаків до 150 т органічних відходів за добу.

У Європі новий метод отримав найбільше поширення з 1976 р. В Італії щорічно виробляють 15...25 тис. т. вермікомпосту. Туди з США були завезені хробаки за назвою "червоний каліфорнійський хробак". Завдяки м'якому клімату хробаководство отримало широке поширення на фермерських ділянках.

У дослідах, проведених в інституті біохімії та фізіології рослин за 3,5 місяці методом вермікультури вдалося переробити в компост тверді побутові відходи, змішані із залишком стічних вод. З них сформували бурти шириною 1,6 м і висотою 0,4 м, які заповнювали хробаками з розрахунку 40 тис. екз./м<sup>3</sup>. До кінця періоду компостування обсяг буртів зменшився на 40...60 %, а маса хробаків збільшилася приблизно вдвічі.

Накопичено певний досвід розведення хробаків у Великобританії. Створений науковий центр, – Ротамстедтська дослідна станція, де ведуться інтенсивні дослідження в області екології та фізіології дощових хробаків, а також у плані використання їх для переробки різних відходів. Зокрема ведуться роботи з активним мулом, що накопичується на очисних спорудженнях. При цьому вермікомпостування розглядається як один з способів швидкої переробки осаду на добрива.

Вермікомпостування дає можливість швидко переробляти на добриво побутові та деякі види промислових відходів. Міське сміття попередньо сортують, звільняють від різних металевих предметів, подрібнюють, зволожують (часто для цієї мети застосовують осад стічних вод), укладають невисокі добре аеровані бурти та заселяють їх хробаками.

У Франції дослідження з переробки відходів методом вермікультури ведуться на дослідній станції фауни ґрунту в Діжоні. Там відходи піддають попередньому розкладанню в спеціальних біореакторах, а потім заселяють коконами хробаків. У порівнянні із традиційними методами компостування біореактори прискорюють дозрівання компосту.

Деякі фахівці вважають [55–58, 88–89], що штучне вирощування хробаків та одержання з їхньою участю біогумусу, не можуть конкурувати із традиційними кормами і добривами, тому що при переробці міських відходів можливе забруднення патогенною мікрофлорою й токсичними речовинами. Проте в 1982 р. у Франції налічувалося близько 2 тис. господарств по виробництву вермікомпосту. Вони продають його або використовують для власних потреб. Багато виробників вермікомпосту об'єднані в кооперативи.

У Німеччині, з використанням методу вермікультури, вдалося організувати безвідхідне виробництво на одній з ферм по вирощуванню ангорських кроликів: на їхньому гної вирощували хробаків, яких потім використали як корм для курей несучок.

Успішно розвивається цей метод в Данії, де основним об'єктом переробки є гній тварин. За розробленою технологією гнойову рідину змішують із твердими відходами, заповнюють нею лотки глибиною близько 40 см і потім



заселяють хробаками (1...2 кг на 1 м<sup>2</sup> поверхні). При підтримці оптимальних для життєдіяльності хробаків умов температури та вологості через 3 місяці вони повністю переробляють відходи в добриво. Їх відокремлюють від компосту за допомогою спеціального пристрою й використовують як кормову добавку. За допомогою вермікультури можна організувати на площі 200 м<sup>2</sup> переробку 50 т тваринницьких відходів з одержанням 32 т компосту і 2 т дощових хробаків. Встановлено, що борошно із хробаків у раціоні різних тварин, птахів, риби, позитивно впливає на приріст біомаси.

У Польщі різні сільськогосподарські підприємства стали займатися промисловим розведенням каліфорнійського гібрида червоного хробака й одержанням біогумусу.

Для цього, у багатьох районах країни створюють спільні суспільства й підприємства по вирощуванню чистого маткового матеріалу гібрида червоного хробака й промислового виробництву гумусної маси. Велике суспільство організоване на базі державного господарства "Горай" Гожівського воєводства. У цьому господарстві створена плантація площею 3 га, на якій вирощують червоного хробака та виробляють біогумус.

Біологічну масу використовують в розведенні овочів, особливо в тепличних спорудженнях. Польські фахівці вважають, що найбільш високий ефект досягається при внесенні 2...3 т/га на корисну площу теплиць. При такій нормі рослини добре розвиваються, менше хворіють різними хворобами. При дотриманні всіх вимог агротехнічних норм одержують високий урожай овочевих культур.

Дуже важливо, що вирощування їх забезпечується тільки за рахунок внесення гумусу, без застосування мінеральних добрив. Зібрані овочі не містять нітратів, використовуються як дієтичні продукти та для дієтичного живлення.

При Івано-Франківській "Облсільгоспхімії" був організований кооператив "Родючість", члени якого вивчали величезний закордонний і вітчизняний досвід вермікультування. При кооперативі була створена спеціальна школа підготовки фахівців із промислового розведення дощових хробаків. З 1989 р. тут було підготовлено близько 500 спеціалістів-біотехників.

Кооператив зумів налагодити ділове й наукове співробітництво з державним господарством "Горай" Гожівського воєводства. Саме сюди було завезено 6 млн. шт. червоного каліфорнійського хробака. Наприкінці 1989 р. у кооперативі вже було не менш 50 млн. в 1990 р. було 700 млн., в 1991 р. близько 5 млрд. шт. хробаків, виробництво біогумуса в 1990 р. – 1000 т., в 1991 р. – 15000 т.

У господарстві ім. Дзержинського Снятинського району з угорською фірмою "Біотряде" створене спільне підприємство "Веселка" по промислового розведенню дощових хробаків і виробництву біогумусу.

При обласній біолабораторії в м. Коломия створений селекційний пункт, що займається виведенням високопродуктивних штамів хробаків і дослідями по використанню й розробці різних технологій вермікультування. Для цього

завезені штами з Польщі, Угорщини, Киргизії, Підмосков'я, зібрані популяції диких хробаків Прикарпаття та Карпат.

Серед всіх видів дощових хробаків, що існують у світі, лише деякі піддаються розведенню в штучних умовах. Серед них найбільш універсальними за своїми характеристиками і найбільш економічно привабливими є хробаки, що відносяться до виду "червоних хробаків".

Культивований дощовий хробак це червоний каліфорнійський гібрид. Червоний дощовий хробак звичайно має комерційне найменування "каліфорнійський", оскільки саме в штаті Каліфорнія Сполучених Штатів Америки почалося інтенсивне культивування його в 50-ті рр. ХХ ст.

У цей час в інтенсивній лумбрікультурі найбільш широко використовують наступні три види: *Eisenia foetida*, *Lombricus rubellus*, червоний гібрид.

Червоний дощовий хробак має тривалість життя близько 16 років, протягом яких він регулярно сполучається через кожні 7 днів, починаючи з 90 дня життя, якщо підстилка має прийнятну для нього температуру. Він гермафродит і не може самоzapлiднюватися. Однак, у результаті з'ягання двох дощових хробаків утворюються два яйця або капсули, по одній на кожен особину, які дозрівають і розкриваються через 14...21 добу, залежно від температури середовища перебування хробаків у підстильці. У кожній капсулі або кокони втримується від 2 до 20 черв'яків, та в середньому 7 молодих черв'яків народжуються від кожної особи в *італійських кліматичних умовах*.

Дві особи дощового хробака в рік можуть зробити в середньому 1500 молодих черв'яків при досить нормальних умовах помірного клімату. Таким чином, одна пара щорічно виводить 3000 молодих хробаків за п'ять поколінь. Ця пара вирощувана в оптимальному середовищі при постійній середній температурі, постійній і контрольованій вологості, наявності прийнятної їжі й достатньої кількості води, може зробити від 7 до 10 молодих хробаків на кожен капсулу та до 20...21 молодого хробака при їхньому розведенні в теплиці.

Розглянемо, що представляє продукт життєдіяльності дощового хробака – так званий біогумус, вермікомпост та ін.

### 5.3.1 Біогумус

**Біогумус (вермікомпост)** – високомолекулярна органічна сполука, що включає циклічну структуру та аліфатичні ланцюги, отримана в результаті переробки хробаками органічних речовин (гною, соломи, листів, залишків силосу, сіна, відходів харчової, м'ясної, плодоовочевої промисловості, комунального господарства, пташиного калу) і виділена в навколишнє середовище з харчового тракту "диких" або штучно культивованих хробаків[55–58, 88–89].

Залежно від застосованого способу екстракції можна виділити фракції – гуміни, гумінові кислоти, фульвокислоти й гематомеланові кислоти (рис. 5.3 –

5.4). Особливу увагу привертає до себе вміст гумінів. Наявність карбоксильної (-COOH) і фенольної (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>6</sub>) груп дає підстави затверджувати, що вони мають функції кислот, які мають молекулярну масу від 2500 до 60000[55–58, 88–89].

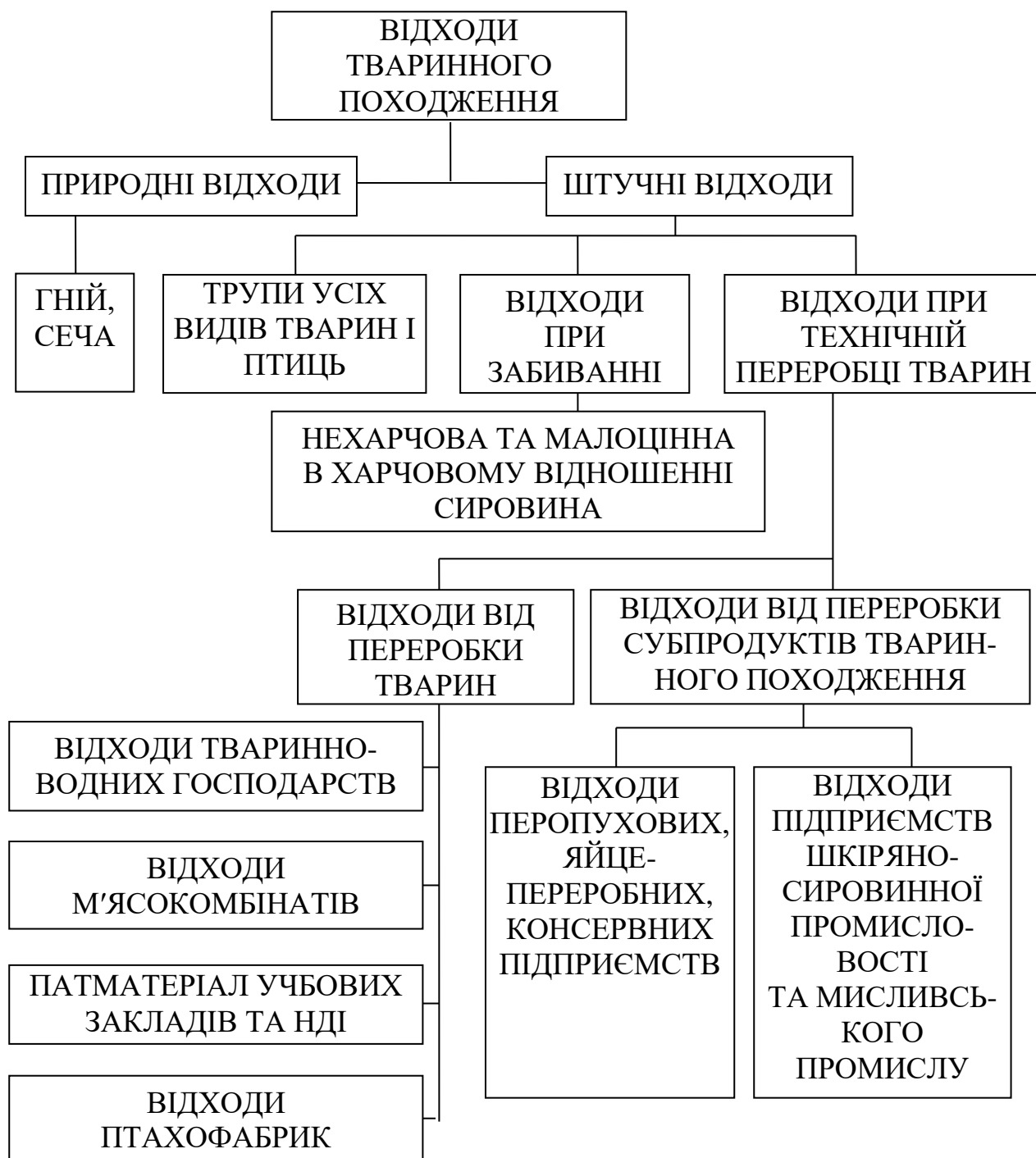


Рис. 5.3 – Класифікація відходів тваринного походження для одержання біогумусу[55–58, 88–89]

Гуміни мають значну питому поверхню (600...1000 м<sup>3</sup>/г), відрізняються адсорбційною здатністю. Наприклад, їх обмінна катіонна здатність становить 400...600 мгекв/100 г ґрунту. Крім того вони добре поглинають воду та схильні до коагуляції. Реакції та процеси, в яких безпосередньо беруть участь органічні

речовини біогумусу та реакції й процеси, що відбуваються під їхнім впливом, – чисельні та різноманітні: іонний обмін, окислювально-відновні реакції, утворення комплексів металів, сорбція пестицидів і важких металів та інших хімічних речовин.

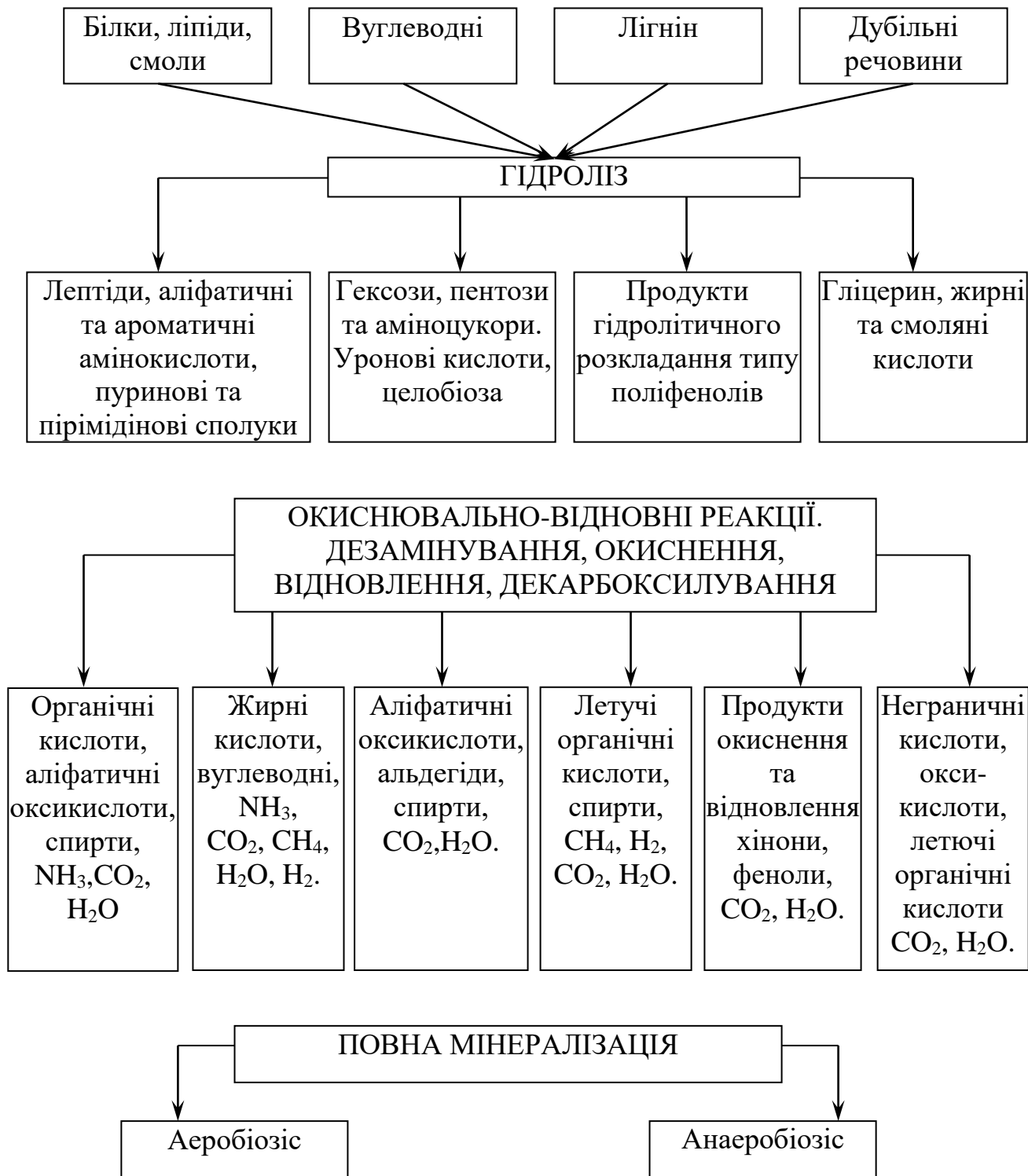


Рис. 5.4 – Процеси розкладу органічних речовин [55–58, 88–89]

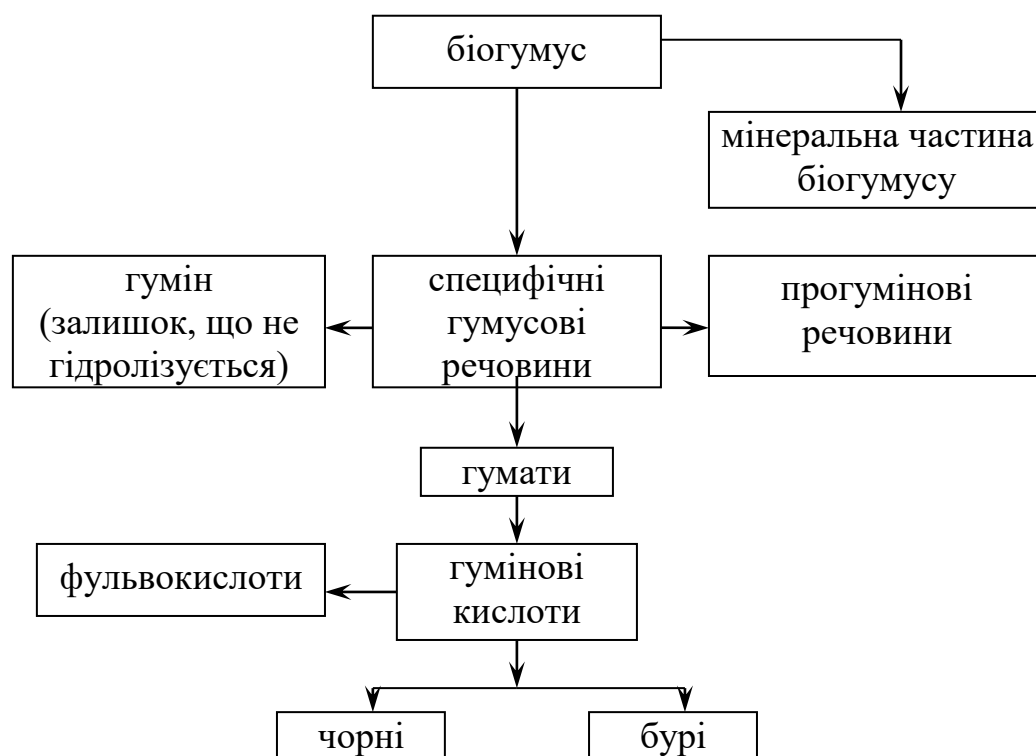


Рис. 5.5 – Склад біогумусу [55–58, 88–89]

При гідролізі вуглеводнів, що входять до складу біогумусу утворюються моносахариди, аміносахари, уронові кислоти; при гідролізі білків – пептиди, а потім амінокислоти; при гідролізі жирів – гліцерин і жирні кислоти. Утворення менш складних ароматичних з'єднань, до складу яких входять фенольні групи відбувається при гідролізі лігніну й дубильних речовин. В аеробних умовах переважають процеси окислювання, а в анаеробних - відновлення. Розрив вуглецевих ланцюгів і зміна ступеня окислювання атомів у молекулах вуглеводів викликають реакції окислювання й відновлення. Це сприяє декарбоксілюванню органічних сполук.

В аеробних умовах продукти гідролізу вуглеводнів окисляються до карболових кислот, альдегідів і спиртів, а продукти гідролізу – до ароматичних альдегідів, окхінонів і кислот. Інтенсивно мінералізуються розчинні цукри, крохмаль, білки, досить швидко гемілец-целюлоза та целюлоза. Найбільш стійкі до розкладання дубильні речовини, лігнін, віск і смола. Паралельно відбувається вторинний синтез – процеси гуміфікації.

Вітаміни, антибіотики, ферменти, що входять до складу біогумусу стимулюють ріст і розвиток рослин.

Лугами та деякими іншими розчинниками з біогумусу витягаються гумати амонію, натрію, калію, кальцію. Залежно від концентрації та типу біогумусу розчини гуматів мають колір від чорного до червонясто-бурого.

Гумінові кислоти – це полідисперсна та гетерогенна група високомолекулярних азотомістящих органічних кислот, що включають ароматичні цикли та аліфатичні ланцюги. У вигляді аморфного пластівчастого осаду – гелю, – гумінові кислоти легко осаджуються кислотами з розчинів

гуматів. Молекулярні маси гумінових кислот становлять десятки тисяч вуглецевих одиниць. Елементарний склад гумінових кислот в атомних процесах коливається в межах карбону – від 35 до 50 %, Н<sub>2</sub> – від 35 до 45 %, О<sub>2</sub> – від 18 до 24 %, N<sub>2</sub> – від 2,5 до 3,5 %. Крім N<sub>2</sub> в них міститься Р, К, S та мікроелементи.

Розкладання

Використання організмами

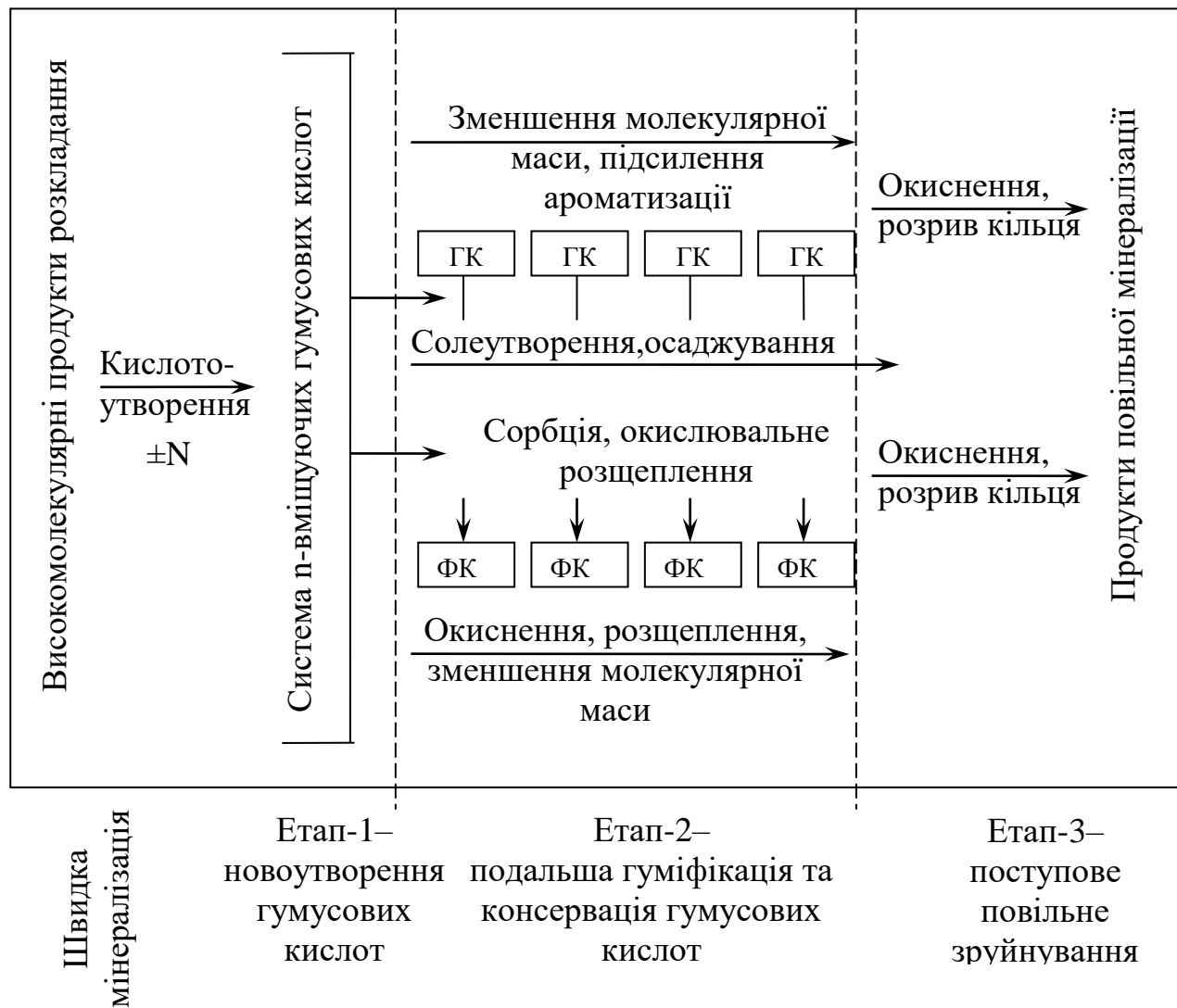
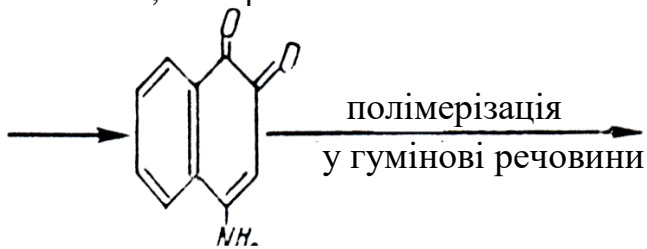


Рис. 5.6 – Схема процесу гуміфікації [55–58, 88–89]

Аналогічно гуміновим кислотам, фульвокислоти в біогумусі представляють собою гетерогенну полідисперсну групу високомолекулярних органічних кислот. Вони мають червонуватий або жовтий колір, що залишається в розчині після підкислення лужної витяжки з біогумусу й випадання в осад гумінових кислот. Фульвокислоти рухливі та більше розчинні у воді, ніж гумінові кислоти. У біогумусі їх міститься незначна кількість.

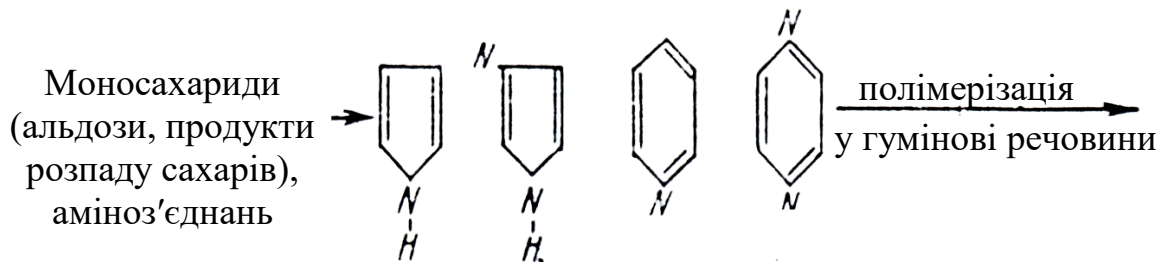
А. Утворення гумінових речовин із хінонів та амінокислот

1,2- нафтахинон

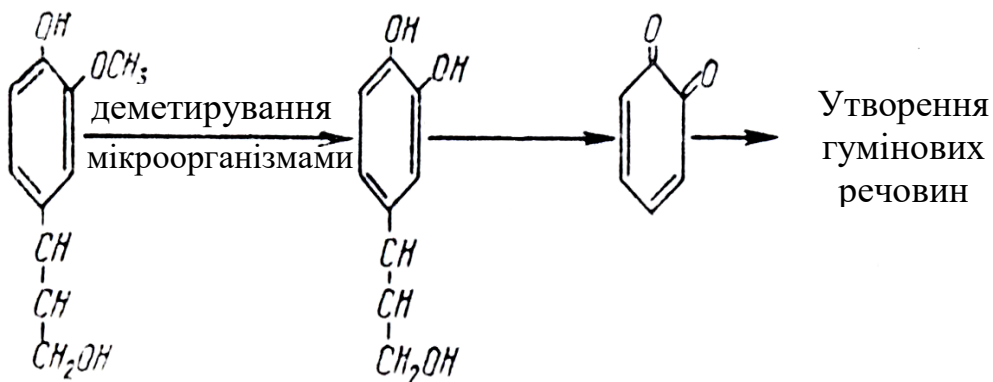


4-аміно – 1,2 - нафтахинон

Б. Утворення гумінових речовин із моносахаридів та аміносполук



В. Утворення гумінових речовин із похідних фенолів



Г. Утворення гумінових речовин із ароматичних амінокислот

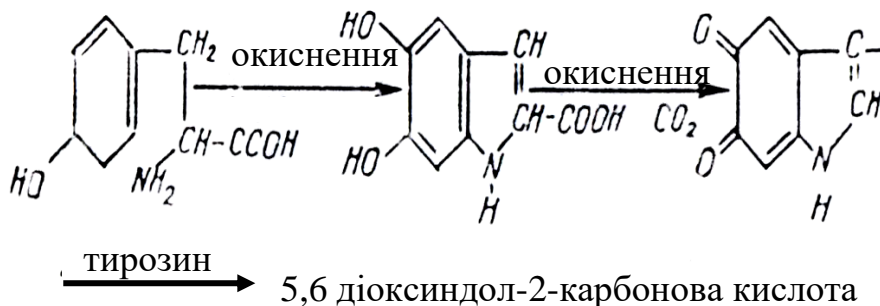


Рис. 5.7 – Ймовірні реакції утворення гумусових кислот в ґрунті [55–58, 88–89]

Встановлено, що основними структурними одиницями гумінових кислот є ароматичні ядра, у тому числі N-містящі гетероцикли, побічні ланцюги та периферичні функціональні групи: метаксильні – OCH<sub>3</sub>, карбоксильні –COOH, карбонільні –CO, гідроксильні й фенольні –OH, хінонні –C=C. Утворення гуміновими кислотами з водою ряду нерозчинних похідних, що володіють високою поглинальною здатністю, сприяє закріпленню їх у ґрунті, що є для неї важливим акумулятором енергії й джерелом живильних речовин.

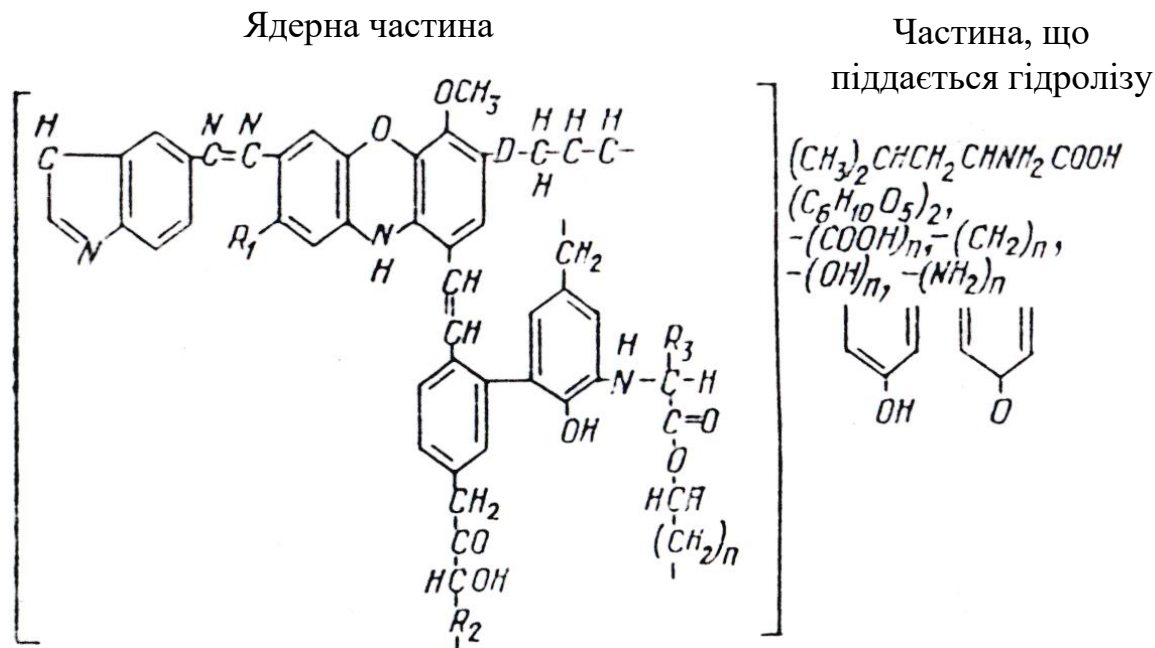


Рис. 5.8 – Схема будови елементарної комірочки гумінової кислоти [55–58, 88–89]

Неспецифічні органічні сполуки, що містяться в біогумусі, надають йому фізіологічну активність, сприяють структуроутворенню й утворенню органомінеральних комплексів. У їхній склад входять найцінніші елементи живлення рослин. Крім згаданих органічних сполук в біогумусі є дубильні речовини, пігменти, вітаміни та деякі інші сполуки.

### 5.3.2 Агрохімічні та фізико-хімічні характеристики біогумусу як добрива

Біогумус має багатобічну позитивну дію на агрохімічні, фізико-хімічні, і біологічні характеристики ґрунтів. У біогумусі акумульована велика кількість макро- і мікроелементів, які безпосередньо засвоюються рослинами, є ряд ростових речовин, вітамінів, антибіотиків, 18 амінокислот і корисна мікрофлора. Хімічна дія біогумусу нейтральна. У результаті того, що гумус містить комплекс корисних речовин він може бути використаний для всіх сільськогосподарських культур, але особливо для тих, які вимагають живильні



речовини в концентрованій формі. Він збалансований за хімічним складом, синхронній дії елементів живлення із пролонгічною дією добрив. Ці добрива служать новим видом добрив для одержання екологічно чистої продукції, здатні реанімувати ґрунт і знижувати антропогенний вплив, особливо при внесенні підвищених доз [55–58, 88–89].

Коефіцієнт гуміфікації субстрату 15...25 %, у той час як для гною він становить до 10 %. За рахунок інтенсивної ферментації біогумус містить велику кількість біологічно активних речовин (ауксинів, гетероауксинів та ін.), які значно знімають стрес рослин, особливо розсади при висадженні в поле, підсилюють приживлюваність, прискорюють проростання насіння, підвищують стійкість рослин до захворювань, впливають на ріст і розвиток рослин, тим самим сприяють одержанню ранньої продукції високої біологічної якості, придатної до тривалого зберігання. Біогумус має й інші коштовні властивості, такі як більша вологоємність, вологостійкість, гідрофільність.

Склад "пасти" біогумусу: рН – 7,35; суха речовина – 32,8%; органічна речовина – 2,9 %; Са – 224,5 мг/кг; Mg – 104,6; N – 0,95; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,12; K<sub>2</sub>O – 0,12; С – 26,4; Мо – 1,32 мг/кг.

Рідка фаза вермікомпосту має рН – 7,46 і містить суху речовину – 0,314 г/100 мл; Са – 21,43 мг/1000мл; Mg – 72,41; N – 0,69; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,13; K<sub>2</sub>O – 0,032; С – 3,92; Мо – 0,076 мг/1000 мл.

Таємниця чудових властивостей гумусу полягає в багатстві бактеріальної флори, що перевищує в 1000 разів гній тварин, який дотепер вважався найкращим натуральним добривом. Гумус містить велику кількість біологічно активних речовин. За основним елементами живлення 1 т гумусу рівноцінна 90...100 т підстилкового гною, не вважаючи на суму мікроелементів.

Дослідженнями порівняно торфо-навозний компост (ТНК) і ТПВ, з яких методом вермікомпостування також одержали вермікомпости. Обидва цих компости порівнювали за складом, за запасами елементів живлення та за змістом забруднюючих речовин. У польових досвідах протягом однієї ротації сівозміни вивчили вплив вермікомпостів на зміну властивостей дерено-підзолистого ґрунту (табл. 5.5).

*Таблиця 5.5*

*Порівняльна характеристика вихідних субстратів і вермікомпостів на їхній основі [88–90].*

Вид субстрату, вермікомпости	Вологість, %	рН	Зольність, %	Зміст на абсолютно суху речовину, %		
				N <sub>2</sub>	Фосфор	Калій
ТНК	55,8	7,50	32,8	1,76	1,56	0,44
ТПВ	50,5	6,70	41,1	0,93	0,75	0,50
Вермікомпост на основі ТНК	50,1	7,71	62,8	1,92	1,96	0,75
Вермікомпост на основі ТПВ	42,7	6,80	68,5	1,19	0,42	1,96

Серед елементів живлення  $N_2$  переважає в складі вермікомпостів і вихідних субстратів. Співвідношення між іншими елементами не рівнозначно. У вермікомпості на основі ТНК утримується рівна кількість  $N_2$  та фосфору. А калію приблизно у два рази менше, тоді як у вермікомпості на основі ТПВ, навпаки, більше вміщується калію, трохи менше  $N_2$ , а фосфати займають лише 1/4 частину від кількості калію.

Результати досліджень показали, що в складі вермікомпостів перебувають не тільки елементи мінерального живлення, але й інші макро- і мікроелементи, які здатні брати участь у реакціях поглинання, обміну, заміщення, утворення комплексів за певних умов середовища.

У складі вермікомпостів на основі ТНК і ТПВ містяться в надлишкових кількостях такі макроелементи, як кальцій, магній, натрій, залізо, алюміній. Причому вермікомпост на основі ТПВ значно забезпечений потенційними запасами макро- і мікроелементів, ніж вермікомпост на основі ТНК. Так у складі вермікомпосту на основі ТПВ міститься в 33 рази більше кадмію, в 20 разів – міді і цинка, в 10 разів – нікелю, барію, хрому, в 3 рази – стронцію, кобальту, ванадію, ніж у вермікомпості на основі ТНК. Ці дані свідчать про можливий рівень забруднення "важкими металами" при систематичному застосуванні у високих дозах. Більшу частину потенційних запасів становлять комплексно-зв'язані з органічною речовиною з'єднання біогенних і важких металів. Ці з'єднання відіграють важливу роль у визначенні рівня забезпеченості добрив

У вермікомпості з ТПВ вміщується приблизно в 4...5 разів більше "важких металів" у вигляді комплексних з'єднань із органічною речовиною, ніж у вермікомпості на основі ТНК. Легкорозчинні сполуки, що володіють найбільшою реакційною здатністю та рухливістю, становлять лише незначну частину потенційних запасів. Зміст цих сполук вказує на екологічне значення отриманих вермікомпостів для використання їх як добрива. У вермікомпості на основі ТНК утримується менша кількість легкорухомих засвоюваних форм з'єднань важких металів, ніж у вермікомпості на основі ТПВ. Тобто вермікомпост на основі ТНК відрізняється екологічною безпекою й може вільно використовуватися не тільки для зернових і технічних культур сівозміни, але й під овочеві, продукція яких застосовується в харчових цілях.

У порівнянні з контрольним варіантом зменшилася кислотність середовища, і збільшився запас елементів мінерального живлення, а також частковий вміст гумусу.

Однакові дози вихідних субстратів і вермікомпостів, приготовлених на їхній основі впливали на нагромадження окремих елементів мінерального живлення та гумусу в ґрунтового середовищу. ТНК і вермікомпост на його основі збагачували ґрунт калієм, кальцієм і магнієм, значно збільшуючи рН у порівнянні з контрольним варіантом. ТПВ й вермікомпост на його основі впливали на нагромадження К, Са та Mg, проте сприяли нагромадженню гумусу й фосфатів за ротацію сівозміни в ґрунті.

Вермікомпостування, як засіб одержання нетрадиційного органічного добрива з економічної та екологічної точок зору виправданий і розкриває широкі можливості й перспективи використання в агропромисловому комплексі й фермерських господарствах. Цей спосіб не вимагає додаткових капіталовкладень і доступний у будь-яких умовах господарювання.

Таблиця 5.6

*Зміна агрохімічних властивостей ґрунту під дією ТНК і ТПВ, а також вермікомпостів за ротацію*

Варіанти дослідів	рН КСІ	Р	К	Са	Mg	Гумус
		мг/100 г ґрунту		% на суху речовину		
Контроль	5,59	14,00	12,45	2,0	0,81	1,96
ТНК у дозі 60т/га	6,29	16,20	19,20	3,9	1,03	2,3
Вермікомпост 18 т/га	6,28	21,60	21,70	3,9	1,06	2,49
ТПВ у дозі 60т/га	6,28	19,50	11,80	3,6	0,83	2,44
Вермікомпост 18т/га	6,05	21,06	15,75	3,5	1,03	2,44

Технологічні процеси переробки хробаками промислових органічних речовин, ТПВ, гною сільськогосподарських тварин та мулових осадів стічних вод розрізняються залежно від вмісту неорганічних залишків та органічних компонентів і діляться на чотири стадії: відділення органічного компонента від неорганічного; подрібнювання органічного компонента; ферментація; використання як корм хробаками.

Як приклад застосування олігохет для переробки мулів – утилізація твердо-фазних мулових осадів станції біологічного очищення "Північна" м. Одеси. Цей процес реалізовано за допомогою компостних хробаків. Процес вивчався в умовах дослідного виробничого підприємства ЧП "Шемет" у с. Фонтанка Одеської області [26, 27].

Отримані дані свідчать про те, що хробаки вилучають із субстрата й акумулюють у своєму тілі такі "важкі метали", як свинець, кадмій, мідь, цинк. За один місяць утилізації мулів хробаками, рівень важких металів у субстраті знижується в середньому: свинцю – на 17%, кадмію – на 95%, міді – на 37%, цинку – на 19%. Проведені радіологічні дослідження показали вміст цезію в межах норми – 26 Бк/кг (при ГДК = 600 Бк/кг).

У цей час відповідно до техніко-економічного обґрунтування доцільності виробництва та типовим проектом створено цільовий комплекс по переробці відходів на одній із тваринницьких ферм в Одеській області.

Відповідно до проекту на ділянці комплексу розміщені та функціонують наступні структури:

- накопичувач із площадкою для зберігання вихідної сировини (твердої фракції тваринницьких відходів);
- приміщення для приготування живильного компосту: технологічний блок вермікультури в приміщенні з мікрокліматом, на стелажах якого розміщені "ложі" з виробничими хробаками;
- блок сортування й відтворення, що передбачає наявність спеціальних столів для ящиків з вермікультури;
- ємності для компосту;
- секції пакування й складування;
- також приміщення для обслуговуючого персоналу із санітарно-гігієнічним блоком.

У результаті відходи під дією вермікультури перетворюються в екологічно чисте органічне добриво та білкові кормові добавки. Рентабельність вермікультування становить 49 %.

При традиційному засобі переробки мулів зазначені вище типові капіталовкладення вилучають із міського бюджету значні обсяги засобів, у той час, як умови вермікультування вимагають удвічі менших витрат, які за своїм характером являються динамічними вкладеннями й забезпечують повернення засобів за рахунок вироблених продуктів у короткий термін.

Впровадження нових безвідхідних технологій утилізації твердофазних мулових осадів станцій очищення міських стоків та інших органічних відходів дозволяє зменшити екологічний збиток природі, знизити епідемічну небезпеку для населення, а також істотно підвищити ефективність агропромислового комплексу в результаті використання органічного добрива - біогумусу - продукту життєдіяльності вермікультури.

Біогумус в 15...20 разів ефективніше вихідного органічного субстрату. Живильні речовини, що перебувають у ньому, легко засвоюються рослинами, мають пролонговані властивості. Застосування біогумусу призводить до різкого зниження вмісту нітратів, виключає застосування хімічних засобів боротьби із хворобами в овочівництві, квітництві, при вирощуванні ефіромасличних і лікарських культур.

Біологічні хробаки, отримані в результаті біоконверсії, представляють собою найцінніший корм для птахів, риби, свиней, великої рогатої худоби. Вміст специфічного білка в них більше 60%.

Промислові раси хробаків при їхньому внесенні в ґрунт відновлюють і підвищують родючість, успішно переробляють різні органічні включення (листи, солома, гній, побутове сміття).

## ВИСНОВКИ

Технології переробки органічних відходів фермерських господарств, міських очисних споруджень дозволяють усунути критичне антропогенне навантаження на навколишнє середовище поряд з виробництвом екологічно чистих органічних добрив і кормового білка.

Впровадження нових безвідхідних технологій утилізації твердофазних мулових осадів станцій очищення міських стоків та інших органічних відходів дозволяє зменшити екологічний збиток природі, знизити епідемічну небезпеку для населення, а також істотно підвищити ефективність агропромислового комплексу в результаті використання органічного добрива - біогумусу - продукту життєдіяльності вермікультури.



Рис. 5.9 – Схема застосування вермікультури для одержання біогумусу та кормового білка в агропромисловому комплексі

Біогумус в 15...20 разів ефективніше вихідного органічного субстрату. Живильні речовини, що перебувають у ньому, легко засвоюються рослинами, мають пролонговані властивості. Застосування біогумусу призводить до різкого зниження вмісту нітратів, виключає застосування хімічних засобів боротьби із хворобами в овочівництві, квітництві, при вирощуванні ефіромасличних і лікарських культур.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5:

Останнім часом Україна все більше перетворюється у аграрно-господарську державу: розвиваються птахогосподарство, сільське господарство, виробництво великого рогатого та середнього нерогатого скота. Цей зріст забезпечується не тільки великими централізованими комплексами, але й низкою середніх та малих господарств. В зв'язку з цим становляться актуальними питання, до яких раніше відносилися без належної уваги. В більшості, – це пов'язано з утилізацією відходів, які утворюються в цьому секторі економіки.

Інтенсивне забруднення оточуючого середовища в сільській місцевості пов'язане з тваринництвом, особливо в випадках концентрації великого поголів'я тварин на фермах, тваринницьких комплексах та птахофабриках. Джерелом цього виступають побічні продукти тваринництва: екскременти, гній, соки пресованих силосних культур, залишки мінеральних кормових домішок.

Хімічні речовини, які застосовують у сільському господарстві, представлені мінеральними добривами, стимуляторами росту рослин та тварин, мінеральними кормовими добавками та ін.[ 16, 21, 30–31, 89–94]. Ряд хімічних речовин потрапляють у оточуюче середовище у вигляді технологічних втрат та відходів. Розсіяний характер сільськогосподарських хімічних забруднень призводить до практично неможливого очищення від них. Небезпечними є продукти спалювання палива при застосуванні сільськогосподарської техніки, експлуатаційні та технологічні розливи паливно-мастильних матеріалів та їх зберігання в складах, які не обладнано.

Але найбільшу небезпеку представляє накопичення та практично безконтрольне використання в господарствах різної форми власності хімічних засобів захисту рослин, так званих пестицидів. щорічно в Україні в ґрунт вноситься 1 млн. 700 тис. центнерів пестицидів і 150000 т мінеральних добрив. З ними надходить у ґрунт 1800 т свинцю, 400 т кадмію, 2200 т цинку, 200 т міді, 67000 т фтору, більш 1,4 млн. т хлору.

Особливу тривогу викликає екологічна ситуація, яка складається в Україні у зв'язку з нагромадженням ХЗЗР як відходів. На сьогоднішній день обсяги нагромадження пестицидів на території України становлять 20,2 тис. т, але за даними офіційної статистики в Україні їх накопичено 13,5 тис. т. Сам шлях нагромадження НП визначає наявність не просто небезпечних, а високо або надзвичайно небезпечних з'єднань.

НАВЕДЕНІ ЦИФРИ ДУЖЕ ПРИБЛИЗНІ та враховують НП накопичені тільки в агропромисловому комплексі до 1991 р. Скільки таких речовин накопичилося після 1991 р. та де зберігаються – відповіді немає. Причиною тому є те, що система Украгрохіму була зруйнована, а нової системи контролю за виробництвом, ввезенням та використанням пестицидів не було створено.

Стан проблеми НП, який ми маємо в Україні, не має світових аналогів. У кожному конкретному випадку, що стосується проблеми небезпечних відходів, виникає дуже складний комплекс питань, пов'язаний у першу чергу з недостатньою екологічною свідомістю не тільки населення, громадських та політичних діячів, а й з відсутністю такої свідомості та здорового глузду в більшості представників органів державної виконавчої влади та місцевого самоврядування, представників контролюючих та наглядових органів. Треба дуже уважно та обережно розглядати питання поводження з небезпечними відходами, враховуючи всі найважливіші фактори та обставини.

Біологічні технології переробки органічних відходів фермерських господарств, міських очисних споруджень дозволяють усунути критичне антропогенне навантаження на навколишнє середовище поряд з виробництвом екологічно чистих органічних добрив і кормового білка.

Впровадження нових безвідхідних технологій утилізації твердофазних мулових осадів станцій очищення міських стоків та інших органічних відходів дозволяє зменшити екологічну шкоду природі, знизити епідемічну небезпеку для населення, а також істотно підвищити ефективність агропромислового комплексу в результаті використання органічного добрива - біогумусу - продукту життєдіяльності вермікультури.

## **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 5:**

1. Класифікація відходів агропромислового комплексу.
2. Наведіть визначення терміну "хімічні засоби захисту рослин".
3. Склад та характер дії на людину ФОС.
4. Схема переносу та кратність нагромадження стійких ХЗЗР у живих організмах.
5. Який перелік першочергових заходів можна запропонувати для регулювання проблеми непридатних ХЗЗР.
6. Депонування ХЗЗР на полігонах.
7. Імобілізація шкідливих речовин як засіб знешкодження ХЗЗР.
8. Спалювання ХЗЗР.
9. Високотемпературне спалювання – основний метод знищення СОЗ.
10. Метод вермікомпостування ТПВ.
11. Які процеси мають місце при розкладі органічних речовин ТПВ за методом вермікомпостування?
12. Який склад має біогумус.
13. Агрохімічні характеристики біогумусу як добрива.
14. Фізико-хімічні характеристики біогумусу як добрива.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Методи переробки промислових викидів та побутових відходів. Навчальний посібник. / В.Я. Кожухар, Д.В. Миронов, В.В. Брем, К.А. Васютинська. – Одеса: "Сімекс-прінт", 2013 – 224 с.
2. Артемов Н.И., Серєда Т.Г., Костарев С.Н., Низамутдинов О.Б. Технологии автоматизированного управления полигоном твердых бытовых отходов / Научно-исследовательский институт управляющих машин и систем. – Пермь, 2003. – 266 с.
3. Быстров Г.А., Гальперин В.М., Титов Б.П. Обезвреживание и утилизация отходов в производстве. – Л.: Химия, 1982. – 263 с.
4. Міщенко В.С., Виговська Г.П. Відходи: реалії і феномени статистики // Труды III Международной конференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов". – Харьков. – 2005. – С. 16 – 19.
5. Закон України "Про відходи". № 187/98 – ВР от 05.03.1998. – 19 с.
6. Закон України "Про охорону навколишнього середовища № 1264-ХІІ – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1991. – № 41. – ст. 546.
7. Конституція України. Закон від 28.06.1996 № 254к/96-ВР. – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1996. – № 30. – ст. 141.
8. Земельний кодекс України. – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2002. – № 3-4. – ст. 27
9. Водний кодекс України. – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1995. – № 24. – ст. 189.
10. Лісовий кодекс України. – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1994. – № 17. – ст. 99.
11. Кодекс України "Про надра". – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1994. – № 36. – ст. 340.
12. Закон України "Про охорону атмосферного повітря". – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1992. – № 50. – ст. 678.
13. Закон України "Про екологічну експертизу". – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1995. – № 8. – ст. 54.
14. Закон України "Про Червону книгу України". – Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2002. – № 30. – ст. 201.
15. Комарницький В.М., Шевченко В.І., Єлькін С.В. Екологічне право: Навчальний посібник. - 3-є вид.. Центр навчальної літератури, К.: 2006. - 224 с.
16. Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. – М.: Мир, 1980 – 606 с.
17. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: Справ. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 176 с.
18. Промышленная экология и технология утилизации отходов. Звягинцев Г.Л. – Х.: Вища шк., 2001. – 144 с.
19. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 2001 – 512 с.
20. Сучасні технології знешкодження та утилізації небезпечних відходів



виробництва. Навчальний посібник/ Глуховський І.В., Шумейко В.М., Овруцький В.М. та ін. – Київ, 1998. – 45 с.

21. Цыганков А.П. Химия и окружающая среда. – М.: Химия, 1982. – 656 с.

22. Шафран Л.М., Мураховская Л.И., Серди И.В. Проблема токсичных промышленных отходов в Одесском регионе и пути ее решения // Перспективные направления развития экологии, экономики, энергетики: Сб. научн. статей/ ОЦНТЭИ. – Одесса, АСТРОПРИНТ, 1997. – С. 89–94.

23. Мокрый Е.Н. и др. Охрана окружающей среды в нефтеперерабатывающей и химической промышленности / Е.Н. Мокрый, Х.З. Котович, В.В. Гуменецкий, О.И. Гринив; под. ред. Е.Н. Мокрого. – Львов: Изд-во при Львовском ун-те, 2002. – 160 с.

24. Баянская Е.П. Отходы – проблема большого города. // Сборник трудов конференции „Экология городов, пригородных зон и ререационных территорий”. – Одесса, ОЦНТЭИ. – 1999 г.

25. <http://www.nalogovnet.com>

26. Утилизация отходов. Организация и контроль полигонов // Сборник трудов конференции "Экология городов, пригородных зон и ререационных территорий". – Одесса, ОЦНТЭИ. – 1999 г. – 278 с.

27. <http://www.dumskaya.net>

28. Причорноморський екологічний бюлетень. – № 1(3). – 2002 р.

29. Причорноморський екологічний бюлетень. – № 2(4). – 2002 р.

30. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение – М.: Химия, 1987. – 712с.

31. Назаренко М.П., Попович М.О. Знешкодження та утилізація непридатних до застосування пестицидів// Екологічна токсикологія на порозі ХХІ сторіччя. – Київ, 1997.– С.121–122.

32. <http://www.waste.com.ua>

33. Методика исследования свойств твердых отбросов / Под общей ред. Н.Ф. Гуляева. – М.: Стройиздат, 1970. – 144 с.

34. Черп О.М., Винниченко В.Н. Проблема твердых бытовых отходов: Комплексный подход. – М.: Эколайн, 1996. – 122 с.

35. Санитарная очистка и уборка населенных мест: Справочник / А.И. Мирный, Д.И. Беньямовский, Е.М. Букреев и др.; Под ред. А.И. Мирного. – М.: Стройиздат, 1985. – 246 с.

36. Шевченко Ю.Л., Дмитриенко Т.Д. Справочник по санитарной очистке городов и поселков. – К.: Будивельник, 1980.

37. <http://www.epa.gov>

38. <http://www.solidwaste.ru>

39. <http://www.vernadsky.ru>

40. <http://www.waste.ru>

41. 100000 hours using landfill gas//Europ. Power News. – 1995. – Vol. 20, № 10. – P. 17.

42. Gastes N.V. Landfill Gas in the Dutch Perspective. – Amsterdam: NOVEM, 1994. – 49 p.

43. Gendedien A. The Global Concept of Landfill Gas Exploitation. –

Brussels: ECSC–EEC–EAEC, 1992. – 29 p.

44. <http://masters.donntu.edu.ua>

45. Бартоломей А.А., Брандл Х., Пономарев А.Б. Основы проектирования и строительства хранилищ отходов: Учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2000. – 196 с.

46. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні/ Міністерство екології та природних ресурсів. – К.: Видання Раєвського. – 2008 р. – 184 с.

47. <http://www.esco.co.ua>

48. Мороз О.В., Свентух А.О., Свентух О.Т. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів. Монографія. – Вінниця: Універсум. – 2003. – 111 с.

49. Спасти нашу планету/ Состояние окружающей среды 1972 – 1992 гг./ Программа ООН по охране окружающей среды. – 1995. – 67 с.

50. <http://www.es-library.narod.ru>

51. Проблемы борьбы с городскими и промышленными отходами в США (Обзор) // Экология и проблемы большого города : Реф. сб. – М., 1992. – 135 с. (Сер. Главные проблемы современности.)

52. Experimental Plant for the Production of Electric Power through the Use of Purified Biogas from Landfill of Municipal Solid Waste (M.S.W.)// Ibid. – P. 149–152.

53. Freed V.H. Disposal and management of pesticide waste and containers // The Safe Disposal of hazardous waste: The special needs and problems of developing countries / Ed. by R. Batstone, J.E. Smith, D. Wilson (World Bank Technical Papers № 93) – Washington: The World Bank, 1989. – P. 589–605.

54. Herminio I., Santiago M., Santiago F. Energetico utilizacion de biogas//Dyna. – 1977. – Vol. 72, № 2. – P. 11–14.

55. Городный Н.М., Ковалёв В.Б., Мірошник Н.А., Повхан М.Ф., Оголенко Н.А. Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве. – Киев, 1990. – 259 с.

56. Лазарчик В.Е., Лазарчик В.М. Экологическая оценка вермикомпостов, полученных из разных субстратов// Экологические системы и приборы. – 2002. – №12. – С.22–26.

57. Экологическая биотехнология / Пер. с англ. В.А. Дымишца; Под ред. К.Ф. Форстера и Д. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – 360 с.

58. Экологическая биотехнология / Под ред. К.Ф. Фостера. – Л. : Химия, 1990. – 383 с.

59. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Радзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод: Спр. пособие. – М: Стройиздат, 1977. – 204 с.

60. Очистка производственных сточных вод: Учебное пособие для вузов / СВ. Яковлев. Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов; Под ред. СВ. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.

61. <http://biomass.kiev.ua/ru/ru/useful-info>

62. Кондырев Б.И., Звонарев М.И., Турмов Г.П. и др. Способ утилизации отходов // Экологические системы и приборы. – 2002. – № 5. – С. 55 – 56.

63. Рыжков С.С., Маркина Л.Н., Рудюк Н.В. Анализ материального баланса термического разложения отходов по технологии многоконтурного циркуляционного пиролиза // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 5. – С. 29 – 36.
64. Рапопорт И.Б. Искусственное жидкое топливо (Химия и технология). – М. Гостоптехиздат, 1955. – 546 с.
65. Waste Incineration and the Environment. Eds R. E. Hester and R. M. Harrison. Royal Society of Chemistry, Manchester, Great Britain, 1994.
66. <http://www.apartment.ru/Article/4876862.html>
67. <http://www.abok.ru>
68. <http://www.ecoaccord.org/pop/2003/0203.htm>
69. Сигал И.Я., Кирилюк Н.И., Домбровская Э.П. Проблема мусоросжигания в Украине// Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1997. – № 1. – С. 64–68.
70. <http://www.ibmh.msk.ru>
71. <http://waste.ua/cooperation>
72. Кирилюк Н.И. Перспективы развития промышленных методов обезвреживания твердых бытовых отходов в Украине // Тез. докл. науч. семинара "Отходы города и их влияние на окружающую среду" (Киев, 1995 г.). – Киев: Укр. ассоц. автопредприятий сан. очистки. 1995. – С. 7–9.
73. Экологически чистый полигон для захоронения ТБО г. Москвы // Агентство по охране окружающей среды Дании. – М., 1995. – 150 с.
74. Инструкция по проектированию и эксплуатации полигонов для твердых бытовых отходов/ Акад. коммун. хоз-ва. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
75. Санитарные правила устройства и содержания полигонов для твердых бытовых отходов. № 2811-83 от 16.05.83г. – М., 1983.
76. Леонтьев Л.И., Юсфин Ю.С. Отходы. Воздействие на окружающую среду и пути утилизации // Экология и промышленность России. – 2003. – № 3. – С. 32 – 35.
77. <http://www.naue.com/en/products>
78. Дмитренко Л.В., Березницкая М.В. Расчет выбросов в секторе "Отходы" для национального кадастра парниковых газов // Труды III Международной конференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов". – Харьков. – 2005. – С. 166 – 169.
79. Шершнева Е.С., Ларионов В.Г., Куркин П.Ю. Масштабы, структура и проблемы утилизации городских мусорных свалок // Экология и промышленность России. – 1999. – №1. – С. 29 – 32.
80. Проскуряков А.Ф. Методы обезвреживания свалочных грунтов, фильтрата, биогаза: Обзор. информ. // Благоустройство, санитарное содержание и озеленение населенных мест / Институт экономики жил. коммун, хозяйства-М., 1993. – Вып. 1 (35) – 35 с.
81. Шекель О.Й., Петухов І.С., Мацкевич Г.І. Як зібрати біогаз на полігонах та звалищах твердих побутових відходів // Міське господарство України. – 2002. – № 4. – С. 41. – 46.
82. Бучинська А. В., Гвоздевич О. В., Кульчицька-Жигайло Л. З.,

Подольський М. Р., Стефанік Ю. В. Дослідження складу біогазу на полігонах твердих побутових відходів Львівської області // 6-я Міжнародна конференція "WasteECo: співпраця для рішення проблеми відходів". – Харків. – 8-9 квітня 2009 р.

83. Schwaiger H., Doloszeski M. Greenhouse Gas Mitigation Potential of Increased Fuelwood Use in Europe in 2020//10th Europ. Conf. and Technol. Exhibition "Biomass for Energy and Industry", Wursburg, Germany, 8–11 June, 1998. – Wursburg, 1998. – P. 1110–1113.

84. Willumsen H.C. Decentralized Energy Production from Landfill Gas Plant // Biomass for Energy and the Environment: Proc. of the 9th Europ. Bioenergy Conf., Copenhagen, 24–27 June, 1996. — Pergamon, 1996. – P. 1146–1150.

85. [http://da-ta.com.ua/guest\\_atricle/2167.htm](http://da-ta.com.ua/guest_atricle/2167.htm)

86. Ютина А.С., Титов А.И., Каллер А.Л. И чистый и неисчерпаемый биогаз очистных сооружений и свалок может стать реальной добавкой к напряженному энергетическому балансу страны // Город. хоз-во Украины. – 1993. – № 4. – С. 18.

87. Матвеев Ю. Біогаз з Луганського полігону ТПВ // Зелена енергетика. – 2003. – №2. – С. 8 – 10

88. Голуэн К.Г. Компостирование отходов // Утилизация твердых отходов / Под ред. Д. Вилсона. – М.: Стройиздат, 1985. – С. 260–291.

89. Koroljova E.G., Miholova D., Mader P., Cibulka J. Bioaccumulation of heavy metals in organs of small mammals in very polluted industrial areas.// Bioindicators and biomonitoring. Abstracts. – Zagorsk. – 1991. – P. 66–69.

90. Larsson L.B. Microbial methods for remediation of contaminated land areas //Hazardous waste management for Central and Eastern Europe: Training programme in Nykoeeping, Sweden, Nov. 6 – Dec. 8, 1995.

91. Крайнов І.П. Зменшення ризику від накопичених в Україні заборонених і непридатних для використання по прямому призначенню пестицидів // Матеріали семінара "Інвентаризація запасів устаревших пестицидів", Воронеж, 29-31 березня 2000 р. – М. ІОМС – 2000 г.

92. Крайнов І.П., Скоробогатов В.М. Компостирование непригодных пестицидов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – Киев. – 2003. – № 2. – С. 43 – 46.

93. Крайнов І.П., Василько В.В., Моторін Є.М. Проблема непридатних до використання пестицидів в Україні. Принципи та шляхи її вирішення // Труды II Міжнародної конференції "Співпраця для рішення проблеми відходів". – Харків. – 2005. – С. 111 – 116.

94. Сово Р.Е., Повякель Л.И. Экотоксикологическая оценка опасности непригодных пестицидов // Утилизация отходов, организация и контроль полигонов. Сб. научн. статей. Одесса: ОЦНТЭИ– 1999. –С. 252–255.

95. Губский Ю.И., Долго-Сабуров И.Д., Храпак В.В. Химические катастрофы и экология. – Київ: Здоров'я. – 1993. – 211 с.

96. Трахтенберг И.М. Приоритетные аспекты проблем медицинской экологии в Украине (взгляд токсиколога)// Современ. проблемы токсикол. – К., 1998. – №1. – С. 5 – 8.

97. Шафран Л.М., Плотная Н.Д., Михалькова С.Г., Мураховская Л.И. Отходы и остатки пестицидов в проблеме охраны окружающей среды и здоровья населения // Труды II Международной конференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов". – Харьков. – 2005. – С. 66 – 69.
98. Текст Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях // UNEP / POPS / CONF / 2, 2001. – 43с.
99. Токсичные и другие опасные отходы //ВОЗ. Европейское региональное бюро. – Копенгаген. – 1979. – 48 с.
100. Рейсмерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. – М. Мысль, 1990. – 637с.
101. Каган Ю.С. Общая токсикология пестицидов. – К.: Здоровье, 1981. – 176 с.
102. Худолей В.В., Мизгирев И.В. Экологические опасные факторы. – СПб., 1996. – 186с.
103. Шумейко В.М., Глухівський І.В., Овруцький В.М. та інш. Екологічна токсикологія: Підруч. для слухачів та студентів системи перепідготовки та підвищення кваліфікації. – К. : Вид-во "Столиця", 1998. – С. 185–186.
104. Ротмистров М.Н., Гвоздак П.И., Ставская С.С. Микробная деструкция синтетических органических веществ. – Киев: Наук. Мысль, 1975. – 224 с.
105. Суханова Л.И. Утилизация осадков природных и сточных вод. Обзор под. ред. Бахтукковой Г.Н. – М.:ВНИИПИ, 1990. – 30 с.
106. Brock T.D. Biology of Microorganisms, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1979, 802.
107. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1987. – 340с.
108. Хоботов В.Г., Комков В.И. Роль гидробионтов в концентрировании тяжёлых металлов из промышленных водоёмов // Теория и практика биологического самоочищения загрязнённых вод: Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1972. – С. 63.
109. Ливанов Г.А., Михалева А.Л., Рамш С.М. Медицинские аспекты экстремальных химических воздействий// Журн. Всесоюз. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. – 1990. – Т. 35. – № 4. – С. 447–452.
110. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Химия воды и микробиология. – М.: Стройиздат, 1974. – 224 с.
111. Боровой І.А., Василько В.В., Крайнов І.П., Саркісов Л.А. Еколого-технологічна оцінка способів знешкодження та знищення непридатних для використання пестицидів – небезпечних відходів агропромислового комплексу України // Труды II Международной конференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов". – Харьков. – 2005. – С. 87 – 91.
112. Збірка тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції студентів аспірантів та молодих вчених "Екологія. Людина. Суспільство". /Укладач Кухарев С.О. – К., 2004. – 218 с.
113. Інструкція по знешкодженню непридатних фосфорорганічних пестицидів і похідних хлорфеноксоцтової та карбамінової кислот методом

компостування / Затв. головою республ. ВНО "Укрсільгоспхімія" та заст. голов. держ. сан. лікаря УРСР. – К., 1991. – 35с.

114. Ферментеры геологического масштаба / О.В. Горбатюк, О.И. Минько, А.Б. Лифшиц, Н.Ю. Елютина // Природа. – 1989. – № 9. – С. 71–79.

115. Гладкий А.В. Методы очистки отходящих промышленных газов от диоксида серы. Серия ХМ–14. Пром. и санитар. очистка газов. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1992. – 38 с.

116. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.

117. Калищуп В.И., Ласков Ю.М. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1995. – 266 с.

118. Кожевникова А.Н. Круговорот метана в экосистемах // Природа. – 1995. – № 6. – С. 25–36.

119. Козин Л.Ф., Волков С.В. Водородная энергетика и экология. – Киев: Наукова думка, 2002. – 340 с.

120. Михайленко Г.Г., Миронов Д.В., Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна от оксидов серы. Монография. – Одесса: Астропринт, 2001. – 84 с.

121. О.В.Мороз. "Еколого-економічні проблеми утилізації ТПВ" //Вісник ВПШ// – 2004. – №3. – С. 27-33.

122. Образование метана микрофлорой грунта полигона твердых бытовых отходов / А.Н. Кожевникова, Н.Ю.Елютина, В.К.Некрасова, Е.Г. Труфманова // Микробиология. – 1989. – Т. 58, вып. 5. – С. 859–863.

123. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. - Л.: Химия, 1977. — 463 с.

124. Сигал И.Я. и др. Очистка промышленных выбросов в атмосферу от оксидов серы и азота: Обзор мирового опыта по очистке дымовых газов в 80–90-е гг. / И.Я. Сигал и др. – Харьков: РИП "Оригинал", 1995. – 144 с.

125. Тищенко Н.Ф. Справочник. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределения в воздухе. М.: Химия, 1991. – 368 с.

126. Ферментеры геологического масштаба / О.В. Горбатюк, О.И. Минько, А.Б. Лифшиц, Н.Ю. Елютина // Природа. – 1989. – № 9. – С. 71–79.

127. Шершнева Е.С., Ларионов В.Г., Куркин П.Ю. Сжигание ТБО с получением электроэнергии и теплоты // Экология и промышленность России. – 1999. – №4 – С. 44 – 47.

128. Шойхет С.О. Оксиды азота. Изд.2-е. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 143 с.

129. Эйнон Л.О. Экологическая очистка воды // Природа. – 1992. – № 9. – С. 26 – 33.

130. Экологический словарь / Сост.: С. Дятлицкий и др.–М., 1983.